Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006

Louise Gendron, Pierre Gauthier et Gilles Savard

Direction régionale des Sciences
Pêches et des Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850 route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

2007

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2731

Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada

Canada

Rapport technique canadien des

sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des
halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications intégrales. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont indexés dans la base de données *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de
s à titre de rapports techniques du Service des
nvironnement. Le nom actuel de la série a été établi lors
de la parution du numéro 925.

demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement d'origine dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Canadian Technical Report of

Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contribute to existing knowledge but that are not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is indexed in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport technique canadien
des sciences halieutiques et aquatiques 2731

2007

Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006

Louise Gendron, Pierre Gauthier et Gilles Savard

Direction régionale des Sciences
Pêches et des Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec)
G5H 3Z4

©Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2007
No. de cat. Fs 97-6/2731F ISSN 0706-6570

On devra citer la publication comme suit :

Gendron, L., P. Gauthier et G. Savard. 2007. Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2731: viii+53 p.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX iv

LISTE DES FIGURES iv

LISTE DES ANNEXES vi

RÉSUMÉ vii

ABSTRACT viii

1.0 INTRODUCTION 1
- 1.1 CULTURE DES ALGUES DANS LE MONDE 1
- 1.2 CULTURE DES ALGUES AU CANADA ET DANS L'ATLANTIQUE 1
- 1.3 DÉBOUCHÉS POUR LES ALGUES 2
- 1.4 APPROVISIONNEMENT EN ALGUES 3
- 1.5 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 4

2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES 4
- 2.1 TECHNIQUES DE CULTURE 4
  - 2.1.1 Cycle de vie des Laminaires 4
  - 2.1.2 Préculture 5
  - 2.1.3 Culture en bassins 6
  - 2.1.4 Culture en mer 7
- 2.2 DÉVELOPPEMENT ET CROISSANCE 10
  - 2.2.1 Densité – Taille – Accroissement 10
  - 2.2.2. Biomasse 11
  - 2.2.3 Autres espèces 11
- 2.3 VARIABLES ENVIRONNEMENTALES 11
- 2.4 CONSTITUANTS DES ALGUES 11
- 2.5 ANALYSE DES DONNÉES 12

3.0 RÉSULTATS 13
- 3.1 DÉVELOPPEMENT ET CROISSANCE 13
  - 3.1.1 Préculture 13
  - 3.1.2 Culture en bassins 14
  - 3.1.3 Culture en mer 16
- 3.2 VARIABLES ENVIRONNEMENTALES 31

3.2.1 Température 31
3.2.2 Sels nutritifs 32
3.3 CONSTITUANTS DES ALGUES 33
4.0 DISCUSSION ET CONCLUSION 36
5.0 REMERCIEMENTS 43
6.0 RÉFÉRENCES 43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Culture en bassins : dates d'échantillonnage, nombre de jours après l'ensemencement et nombre d'échantillons (ficelles de 5 cm) prélevés pour les mesures des plantules de décembre 2005 à mars 2006. 10

Tableau 2. Culture en mer : dates d'échantillonnage et nombre d'échantillons (ficelles de 5 cm) prélevés pour chacun des traitements de mai à octobre 2006. 11

Tableau 3. Culture en bassins : densité et taille (moyenne (mm) ±erreur-type) des frondes provenant des cordes de 1 m en position horizontale en fonction des dates d'échantillonnage. Seuls les sporophytes dont la longueur totale était ≥ 1mm ont été considérés. 15

Tableau 4. Nombre moyen (±erreur-type) de plants par bout de ficelle de 5 cm (n) pour chaque traitement de mai à octobre 2006. 17

Tableau 5. Longueur et largeur des frondes et longueur des stipes des Laminaires (moyenne (cm) ±erreur-type) mesurées entre mai et octobre 2006 pour chaque traitement. 20

Tableau 6. Biomasse (kg par mètre de corde) de Laminaires, de stipes, de frondes et de moules lors de la récolte en octobre 2006 pour les différents traitements. 28

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Cycle de vie d'une Laminaire (traduit de Schiel et Foster 2006). 5

Figure 2. Bécher montrant la solution de spores (A) qui a été ensemencée sur un collecteur fait de ficelles de nylon de 1,5 mm de diamètre enroulé autour d'un support de PVC (B) et placé dans un aquarium de 45 L (C). 6

Figure 3. Section de corde de polypropylène montrant les segments de 5 cm de ficelle de nylon insérés dans les torons (A) et montage des cordes dans les bassins à l'IML (B). Les cordes verticales n'apparaissent pas sur cette photo. 7

Figure 4. Site aquacole de Paspébiac représenté par le quadrilatère NO, SO SE et NE..... 8

Figure 5. Schéma des filières de Laminaires. A) cordes de 1 m en position horizontale à 2 mètres sous la surface, B) cordes de 1 m en position verticale à partir de 2 mètres sous la surface et C) cordes de 0,45 m en position verticale à 2 et à 5 m sous la surface. 9

Figure 6. Apparence des sporophytes, A) 14 jours, B) 24 jours et C), D) 28 jours après l'ensemencement. À 28 jours, la longueur totale des plantules était d'environ 1-2 mm. Les lignes horizontales représentent approximativement 100 µm. 13

Figure 7. Apparence des ficelles A) dans l'aquarium 34 jours après l'ensemencement et B) en comparaison avec une ficelle non ensemencée. Les frondes des plantules atteignent 4-6 mm de longueur 14

Figure 8. Nombre de plants par bout de 5 cm de ficelle entre le 20 décembre 2005 et le 9 mars 2006, soit entre 48 et 129 jours après l'ensemencement. 15

Figure 9. Distribution des fréquences de taille des frondes de Laminaires les 9 février et 9 mars 2006, 101 et 129 jours après l'ensemencement. 16

Figure 10. Aspect morphologique des plants observés le 9 mars 2006, soit 129 jours après l'ensemencement. Frondes (panneau de gauche), stipe et crampon (panneau de droite). 16

Figure 11. Nombre moyen de plants (±erreur-type) sur des échantillons de ficelles de 5 cm lors de la culture en mer sur filières selon 4 traitement entre mai et octobre 2006. 18

Figure 12. Longueur moyenne des frondes (±erreur-type) mesurée lors de la culture en mer au large de Paspébiac selon 4 traitements entre mai et octobre 2006. 21

Figure 13. Distributions des fréquences de taille des frondes de Laminaires de mai à octobre 2006 pour les traitements A) Horizontal et B) Vertical (moyenne±erreur-type) 22

Figure 14. Distribution des fréquences de taille des frondes de Laminaires de mai à octobre 2006 pour les traitements A) 2-mètres et B) 5-mètres (moyenne±erreur-type). 23

Figure 15. Accroissement linéaire moyen (±erreur-type) des frondes de Laminaires mesuré pour deux périodes de 35 jours, du 18 juillet au 22 août et du 22 août au 26 septembre 2006 sur un total initial de 36 algues. (n=nombre d'algues mesurées à chaque période et pour chaque traitement). 24

Figure 16. Régressions linéaires entre la longueur et la largeur des frondes des Laminaires mesurées en mai et juin 2006 pour les traitements Horizontal, Vertical, 2-mètres et 5-mètres. 25

Figure 17. Particularités morphologiques des plants de Laminaires de mai à octobre 2006 pour chacun des traitements : A) Frondes coupées, B) Frondes déformées, C) Stipe seul, et D) Frondes fragmentées. 26

Figure 18. Biomasse estimée (kg/m de corde ±erreur-type) A) de Laminaires et de moules et B) de frondes et de stipes lors de la récolte d'octobre 2006 pour les traitements Horizontal (H), Vertical (V), 2-mètres (2m) et 5-mètres (5m). 27

Figure 19. Proportion de la biomasse totale récoltée sur les cordes en octobre 2006 constituée de stipes et de frondes de Laminaires ainsi que de moules pour les traitements Horizontal (H), Vertical (V), 2-mètres (2m) et 5-mètres (5m)..... 28

Figure 20. Biomasse de moules A) pour les différents traitements, B) à différentes profondeurs sur la ligne d'amarrage des filières et C) longueur moyenne des moules fixées sur les ficelles pour chacun des traitements (±erreur-type). 29

Figure 21. Fronde envahie complètement par le bryozoaire *Membranipora membranacea* (en bas de la photo) en comparaison avec une fronde sans le bryozoaire (en haut de la photo). 30

Figure 22. Températures journalières moyennes observées en surface (2 mètres) sur le site aquacole de Paspébiac du 11 juin au 26 octobre 2006. 31

Figure 23. Variation mensuelle des sels nutritifs A) nitrites $NO2^-$ et nitrates $NO3^-$, et B) phosphates, $PO4^{3-}$, au site de Paspébiac de mai à octobre 2006 (±erreur-type). 32

Figure 24. Pourcentage (±erreur-type) d'acides uroniques par rapport au poids sec mesuré dans les algues cultivées et sauvages au large de Paspébiac en mai, juillet et septembre 2006, incluant les algues colonisées par le bryozoaire *Membranipora membranacea* (bryo). 33

Figure 25. Pourcentage (±erreur-type) A) de sucres totaux et B) de glucose par rapport au poids sec mesuré dans les algues cultivées et sauvages au large de Paspébiac en mai, juillet et septembre 2006, incluant les algues colonisées par le bryozoaire *Membranipora membranacea* (bryo). 34

Figure 26. Pourcentage (±erreur-type) d'azote par rapport au poids sec mesuré dans les algues cultivées et sauvages au large de Paspébiac en mai, juillet et septembre 2006, incluant les algues colonisées par le bryozoaire *Membranipora membranacea* (bryo). 35

Figure 27. Pourcentage (±erreur-type) de minéraux (sodium (Na), magnésium (Mg), potassium (K) et calcium (Ca)) par rapport au poids sec mesuré dans les algues cultivées et sauvages au large de Paspébiac en mai, juillet et septembre. 36

Figure 28. Larve cyphonaute du bryozoaire *Membranipora membranacea* (tiré de Atkins 1955)..... 50

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. CARACTÉRISTIQUES DU BRYOZOAIRE *MEMBRANIPORA MEMBRANACEA* (CLASSE DES GYMNOLAEMATA, ORDRE DES CHEILOSTOMATA)..... 49

Annexe 2. Pourcentage moyen (± erreur-type) des constituants des Laminaires cultivées et sauvages pour mai, juillet et septembre 2006. Les résultats sont en pourcentage (p/p) du poids sec. Nd : non détecté. 53

RÉSUMÉ

Gendron, L., P. Gauthier et G. Savard. 2007. Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2731 : viii+53 p.

En novembre 2005, une culture de Laminaire à long stipe (*Laminaria longicruris*) a été démarrée à l'Institut Maurice-Lamontagne, à partir de spores provenant de frondes fertiles récoltées à Paspébiac (Québec). Des ficelles de nylon ont été ensemencées de spores et mises en culture en milieu fermé dans de l'eau stérile et enrichie. Les premiers sporophytes microscopiques ont été observés 14 jours après l'ensemencement. Au bout de 34 jours de culture, la longueur moyenne des frondes était de 5-6 mm. Cinq semaines après l'ensemencement, des bouts de 5 cm de ficelle de nylon ont été insérés dans les torons de cordes de polypropylène de 1 m et 0,45 m et transférées en bassin en circuit ouvert. Au bout de 70 et 101 jours suivant l'ensemencement, des frondes atteignant respectivement 10 cm et 30 cm ont été observées. Les cordes portant les jeunes plants de Laminaires ont été transférés en mer en mai 2006 au large de Paspébiac, et installées sur quatre filières flottantes. Initialement, le projet visait à suivre la croissance des algues jusqu'en décembre 2006 mais la colonisation des algues par un bryozoaire (*Membanipora membranacea*, espèce envahissante) vers la fin juillet a cependant causé leur perte et a mis fin à l'expérience en octobre. Bien que le projet n'ait pas donné les résultats escomptés en termes de biomasse récoltable, les informations acquises tout au long de ce premier essai sont néanmoins importantes et utiles pour la planification des prochaines étapes. Le projet a permis d'essayer la culture selon deux types d'installation des cordes (horizontalement et verticalement) et deux profondeurs (2 et 5 m), d'évaluer la stratégie de croissance des Laminaires en relation avec la quantité de sels nutritifs azotés dans le milieu, d'évaluer les contenus en sucres, acides uroniques, azote et minéraux des algues cultivées, comparativement aux algues sauvages. Une description du bryozoaire envahissant est présentée dans le document ainsi que des pistes de solution visant à restreindre sa prolifération et atténuer ses impacts négatifs sur les populations aquicoles de Laminaires.

ABSTRACT

Gendron, L., P. Gauthier et G. Savard. 2007. Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2731 : viii+53 p.

In November 2005, cultivation of the hollow stem kelp *Laminaria longicruris* was experienced at the Maurice Lamontagne Institute, from spores obtained from fertile fronds collected off Paspébiac (Québec). The spore suspension was poured on nylon strings and placed in a closed-system tank, in sterile and enriched water. The first microscopic sporophytes were observed 14 days following seeding. After 34 days, mean frond size reached 5-6 mm. Five weeks after seeding, lengths of nylon strings 5cm long were inserted through the strands of 1 m and 0,45 m polypropylene ropes and transferred in an open-system tank. 70 and 101 days following seeding, frond length reached 10 cm and 30 cm respectively. The ropes holding the young sporophytes were transferred to sea in May 2006, off Paspébiac and installed on 4 floating longlines. The project was initially designed to follow kelp growth until December 2006 but the colonization of the kelp by an invasive bryozoan, *Membranipora membranacea*, at the end of July, caused the loss of the kelp and put an end to the experiment in October. Although the biomass production did not reach expectations, important and useful information for the planning of the future steps was nevertheless obtained from the experiment. The project gave the opportunity to examine two schemes of rope arrangements (horizontal and vertical) for kelp cultivation as well as two depths (2 and 5 m), to determine kelp growth strategy in relation to the level of nitrogen in the water, to evaluate sugar, uronic acid, nitrogen and mineral contents in the cultivated compared to wild kelp. A description of the biological characteristics of the invasive bryozoan is given in the document as well as possible ways to reduce its proliferation and mitigate its negative impacts on cultivated kelp populations.

1.0 INTRODUCTION

1.1 CULTURE DES ALGUES DANS LE MONDE

En 2004, un total de 15,4 millions de tonnes d'algues a été récolté dont un peu plus de 90 %, soit 13,9 millions de tonnes, provenait de la mariculture (FAO 2007). Cette production algale représentait en volume plus de 23 % de la production annuelle mondiale aquacole, toutes espèces confondues, atteignant une valeur de $6,8 milliards USD. Sur les dix premiers producteurs d'algues, seulement le Chili (neuvième position) ne provenait pas d'Asie, les trois principaux étant la Chine, les Philippines et la République de Corée avec des pourcentages respectifs de 77 %, 9 % et 4 %.

Les pays producteurs ont principalement mis en culture des algues brunes et rouges pour des totaux respectifs de 7,2 et 4,1 millions de tonnes annuellement (52 et 29 % de la production algale totale). Parmi les algues brunes, la production de Laminaires est la plus importante avec 4,5 millions de tonnes en 2004 (FAO 2006a). Une production additionnelle de 2,6 millions de tonnes est attribuée à une variété d'algues dont le groupe n'est pas clairement identifié. Par contre, la culture des algues vertes est marginale.

De toute évidence, l'aquaculture des algues a connu un essor fulgurant si l'on considère que durant les années 1950, moins de 100,000 tonnes (t) étaient produites annuellement. À cette époque, la culture des algues rouges dominait la production mondiale, mais rapidement celle des algues brunes est venue la supplanter en raison de l'engouement de la Chine et quelques autres pays asiatiques pour les algues brunes comestibles dont le Kombu (*Laminaria japonica*) et dans une moindre mesure le Wakamé (*Undaria pinnatifida*).

En plus de satisfaire principalement aux besoins de la consommation humaine (66 % de la production mondiale aquacole d'algues en 2000) et, dans une moindre mesure, à ceux de l'industrie en composés dérivés (e.g. phycocolloïdes, environ 12 %) (Chopin et Bastarache 2002), la culture des algues commence à être envisagée pour agir comme épurateur ou biofiltre de systèmes aquacoles. La culture des algues à proximité de zones d'aquaculture de saumon permet une utilisation des déchets inorganiques comme engrais, favorisant la croissance algale tout en épurant le milieu. Des filières de moules sont utilisées dans ces mêmes systèmes pour éliminer les déchets organiques. Cette approche multi-trophique est en développement dans l'est du Canada, mais pour l'instant, les volumes produits sont très faibles (Chopin et Bastarache 2002, Lüning et Pang 2003, Chopin *et al.* 2001).

1.2 CULTURE DES ALGUES AU CANADA ET DANS L'ATLANTIQUE

Au Canada, l'aquaculture demeure encore une industrie récente, mais qui vit une expansion rapide (Statistique Canada 2006). La production annuelle en 2005 était d'environ 150 000 t (88 % de poissons et 9 % de mollusques) pour des revenus d'exploitation de plus de $700 millions CAD. La production canadienne, toutes espèces confondues, représente moins de 1 % du total de la production aquacole mondiale. De plus, sur environ 70 espèces cultivées au Canada, très peu sont des algues marines (Statistique Canada 2005). Celles-ci sont cultivées de façon marginale, ce qui représente une fraction minime de la production mondiale.En 2004, la récolte canadienne d'algues en milieu naturel se situait au treizième rang mondial avec environ 17 000 t (FAO 2007) récoltées surtout sur la côte est (e.g. l'Ascophylle noueuse, *Ascophyllum nodosum* et la Mousse d'Irlande, *Chondrus crispus*).

Les tentatives de cultiver des algues se sont multipliées presque exclusivement sur les côtes de la Colombie-Britannique et en 2004, une dizaine d'espèces d'algues brunes, rouges ou vertes étaient cultivées (Site Internet : Ministry of Agriculture and Lands). Les laminaires sont la plupart du temps cultivées selon une technique des lignes suspendues et ancrées entre deux eaux en milieu naturel ou près de la surface ou, dans une moindre mesure, à l'aide de modules flottants. Au fil des ans, des recherches ont été poursuivies, principalement sur des algues rouges, afin de sélectionner les individus à croissance rapide et développer des techniques de préculture comme le clonage avant le transfert en mer (Bunting *et al.* 1980).

Du côté Atlantique, en Nouvelle-Écosse, trois compagnies maricoles sont actives (Site Internet : Nova Scotia Fisheries and Aquaculture). La plus importante est la compagnie Acadian Seaplants Limited (ASL). Ses innovations aquicoles en milieu terrestre lui ont permis de devenir le premier leader mondial dans la culture d'algues en réservoir. ASL opère sur un site terrestre de 8 hectares. L'espèce privilégiée est l'algue rouge *C. crispus*, mais d'autres espèces seraient également cultivées utilisant la même méthode (ASL, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, communication personnelle). Deuxième en importance, Ocean Produce International (OPI) cultive, entre autres, l'algue rouge la main-de-mer-palmée, *Palmaria palmata*, dans des réservoirs, à l'intérieur d'une serre, qui sont alimentés à partir d'un puits d'eau salée. Aucune information n'a pu être obtenue concernant le troisième producteur.

Malgré les milliers de kilomètres en potentiel maricole qu'offrent les côtes canadiennes et québécoises, la culture d'algues reste très peu développée. L'industrie est encore loin d'une production à grande échelle et vit actuellement ses premiers balbutiements. Il reste plusieurs étapes à franchir avant d'atteindre une viabilité économique et une implantation à long terme de telles activités.

1.3 Débouchés pour les algues

Des $5,5 à 6,0 milliards de dollars que rapporte annuellement l'industrie mondiale de la culture des algues marines, entre 83 et 91 % provient de la vente de produits destinés à la consommation humaine (FAO 2006a). On retrouve dans cette catégorie les algues comestibles Kombu, Wakamé et Nori, éléments importants du marché des algues en Asie de l'est. La deuxième niche économique d'importance sur le marché mondial des algues provient de l'extraction des phycocolloïdes. Quant aux utilisations diverses associées aux fertilisants organiques pour l'horticulture et aux additifs alimentaires pour les animaux d'élevage (bovins, ovins) leur apport économique serait de l'ordre d'environ 1 % (Chopin et Bastarache 2002). Malgré leur part de marché moindre, ces secteurs possèdent tout de même un bon potentiel de croissance. La FAO (2006b) rapporte également des opportunités émergentes d'utilisation des algues pour l'extraction de micronutriments et la production de composés nouveaux à haute valeur ajoutée. Les pays non-asiatiques seraient davantage enclins à développer de tels produits.

La compagnie ASL procède à l'extraction des carraghénanes, principalement à partir de *C. crispus* (Chopin et Bastarache 2002). ASL est un important distributeur mondial de phycosuppléments (30 à 40 % du marché mondial dans plus de 65 pays) tout en ayant une gamme de produits très variés allant du fertilisant au produit de beauté. ASL récolte les

algues en milieu naturel mais cultive aussi une souche particulière de *C. crispus*, principalement pour le marché alimentaire japonais. Toujours en territoire néo-écossais, la compagnie OPI se concentre sur la culture d'une variété particulière de l'algue rouge, *P. palmata* pour le secteur de l'alimentation et autres usages variés.

Le développement des marchés de nutraceutiques et de cosméceutiques ainsi que ceux des composts et fertilisants horticoles à base d'algues marines suscite de l'intérêt au Québec. Quelques producteurs exploitent déjà depuis quelques années *A. nodosum* et les Laminaires le long des côtes du Québec. Ces algues sont pour la plupart transformées en farines d'algues, extraits liquides et composts pour les marchés horticoles.

1.4 APPROVISIONNEMENT EN ALGUES

Au Québec, l'approvisionnement en algues se fait à partir de récolte de plants sauvages et d'algues échouées sur les plages. Ces méthodes de récolte sont soumises à un certain nombre de contraintes et limitations. Les algues échouées constituent une ressource dont l'accessibilité est sporadique, difficilement prévisible et bien souvent de qualité variable. La récolte de plants sauvages est quant à elle soumise à de nombreuses règles pour protéger à la fois la ressource et l'habitat, ce qui rend bien souvent la récolte difficilement rentable. Ainsi, la récolte des plants d'*A. nodosum* doit se faire en coupant les plants à une hauteur réglementaire minimale de 12,7 cm de la base. Les crampons ne doivent pas être arrachés. La récolte doit être réalisée à l'intérieur de surfaces n'excédant pas 15 mètres de diamètre environ et toute surface exploitée ne doit pas être à moins de 15 mètres de toute autre surface exploitée. Par ailleurs une rotation des zones de coupe sur une période minimale de 3 ans doit être respectée. Quant à elle, la cueillette de Laminaires doit se faire en plongée sous-marine et les algues doivent être coupées à une hauteur minimale de 1 mètre du fond pour protéger le recrutement et l'habitat. L'exploitation doit se faire en respectant un patron spatial où les zones exploitées (environ 100 mètres) doivent alterner avec des zones non exploitées comportant des plants matures.

Un promoteur de la baie des Chaleurs, Les Gaspésienne inc., a récemment débuté des opérations de récolte et de transformation de Laminaires destinées à des marchés horticoles. Afin d'être en mesure de mieux contrôler la quantité et la qualité des algues transformées, il a manifesté un intérêt pour cultiver les algues. La culture de Laminaires pourrait potentiellement permettre un meilleur contrôle de l'approvisionnement en algues (quantité et qualité). Des entreprises de transformation œuvrant en biotechnologie, comme Océanova Biotechnologies inc. pourraient y voir une façon de contrôler la qualité des algues dont sont extraites certaines molécules destinées aux marchés des nutraceutiques et cosméceutiques. La culture des algues permettrait également d'éviter la perturbation des champs de Laminaires sauvages qui ont un rôle écologique dans les écosystèmes côtiers qui supportent notamment les populations de homard. Bien que la technologie de culture des Laminaires soit connue et accessible (Druehl 1980, 1988), et qu'elle ait déjà été tentée dans les provinces de l'Atlantique dans le cadre d'essais de polyculture avec moules et saumons (Chopin *et al.* 2003), elle n'a pas encore été expérimentée pleinement au Québec (Marsot et Fournier 1992).

1.5 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Les travaux qui ont été entrepris en octobre 2005 visaient à : 1) tester la faisabilité de produire en laboratoire des jeunes pousses de Laminaire à partir de sporophytes matures récoltés en milieu naturel, en adaptant des protocoles en usage ailleurs; 2) maintenir en bassins les jeunes pousses de Laminaires et suivre leur croissance jusqu'au transfert en mer au printemps 2006; 3) suivre la croissance des Laminaires en mer jusqu'à la fin de l'automne (décembre); 4) évaluer les constituants d'intérêt commercial des Laminaires cultivées par rapport aux Laminaires sauvages et 5) déterminer les caractéristiques physico-chimiques du site de culture pour en évaluer le potentiel pour des opérations futures.

2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 TECHNIQUES DE CULTURE

2.1.1 Cycle de vie des Laminaires

Les Laminaires sont caractérisées par un cycle de vie présentant une alternance entre une génération sporophytique et une génération gamétophytique (Figure 1). À l'âge adulte et lors de la saison automnale, des zones matures de la fronde que l'on nomme sores produisent par méiose des spores qui sont libérées dans la colonne d'eau. Ces spores sont haploïdes, c'est-à-dire qu'ils contiennent un seul jeu de chromosomes (1N). En quelques jours, ces spores indifférenciées se fixent sur le substrat avoisinant pour se développer en gamétophytes filamenteux. C'est la génération gamétophytique. Les gamétophytes femelles forment l'œuf qui sera fécondé par les spermatozoïdes motiles produits par les gamétophytes mâles. Par la suite, la fertilisation de l'œuf à même un gamétophyte femelle transforme celui-ci en zygote. On nomme ce mécanisme, syngamie. Le zygote est diploïde, c'est à-dire qu'il possède 2 chromosomes (2N) provenant de la fusion des gamètes. Tout ce processus peut s'effectuer sur une période d'environ 45 jours. C'est la génération sporophytique qui débute. Le nouvel individu croît par divisions cellulaires de façon continue, ce qui permet bientôt de le distinguer à l'œil nu lorsqu'il atteint quelques millimètres. Au printemps suivant, le sporophyte aura pris l'aspect d'une jeune pousse avec toutes les parties caractéristiques bien identifiables de l'algue (fronde, stipe, crampon). À l'automne, la fronde de la jeune Laminaire pourra atteindre 1 mètre de long, et parfois beaucoup plus selon l'espèce. Sa croissance peut même s'étendre sur plusieurs années. Toutefois, l'érosion constante qu'elle subit au bout de la fronde limite sa taille. La majorité des Laminaires peuvent produire des spores la première ou deuxième année.

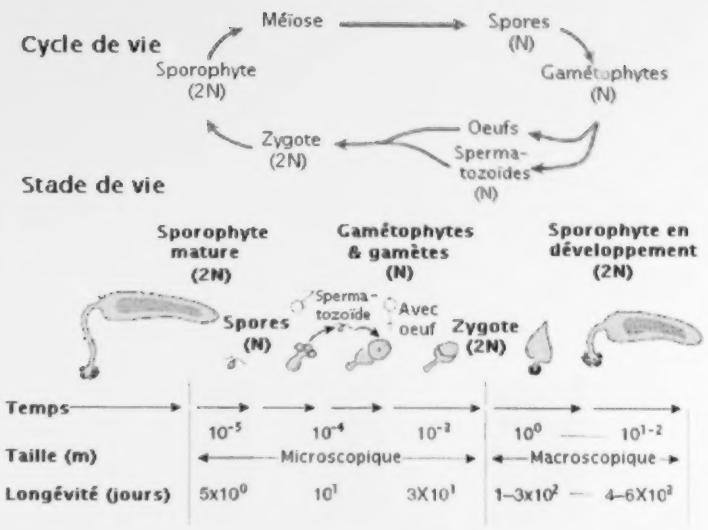


Figure 1. Cycle de vie d'une Laminaire (traduit de Schiel et Foster 2006).

2.1.2 Préculture

Les protocoles existant (Druehl, 1980, 1988, Marsot et Fournier 1992) ont servi de base à l'élaboration du protocole de préculture développé ici. Des frondes matures de Laminaires ont été récoltées à la fin octobre 2005 à Paspébiac, et transportées aussitôt à l'Institut Maurice-Lamontagne (IML) dans une glacière. Le lendemain de leur arrivée, trois sections fertiles d'environ 10 x 20 cm ont été découpées dans les frondes et placées au sec à 10°C, à l'obscurité, pendant environ 10 heures. Elles ont ensuite été mises dans un bécher de 1L d'eau de mer stérile (filtration à 0,2 µm et stérilisation par UV) à 10°C, pendant une heure, afin de provoquer la sporulation. La suspension de spores (Figure 2A) a ensuite été versée dans un aquarium de 45 L contenant un support triangulaire fait de tiges de PVC autour duquel environ 30 m de ficelles de nylon de 1,5 mm de diamètre étaient enroulées (Figures 2B, 2C). Au moment de l'ensemencement, un léger bullage a été installé pour permettre une dispersion uniforme des spores autour des ficelles. La fixation des spores se fait assez rapidement, soit en moins d'une journée (Druehl 1980). Au bout de 24 heures, une fois la fixation terminée, le support de PVC a été transféré dans un autre aquarium de 45 L contenant de l'eau de mer stérile et enrichie avec un milieu de culture Guillard F/2 (Sigma) sans silicates pour la poursuite du développement des spores. Ce milieu fermé a été maintenu à une température de 10°C, une salinité de 25-29, avec une photopériode de 18h:6h (L:N) et sous une intensité lumineuse de 40 µmole m^{-2} sec^{-1} obtenue par des néons Vita-Lite™ placés au-dessus et à l'arrière de l'aquarium. Un léger bullage, d'environ 0,5-2,0 L/min a été maintenu tout au long du développement des spores. À chaque semaine, le support de ficelles était transféré dans un second aquarium avec de l'eau nouvelle. Les deux aquariums utilisés en alternance étaient désinfectés à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium 1 % avant leur réutilisation.

A) B) C)

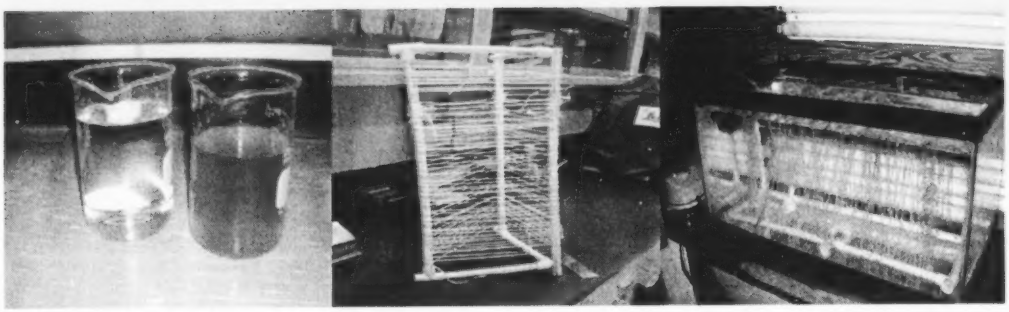


Figure 2. Bécher montrant la solution de spores (A) qui a été ensemencée sur un collecteur fait de ficelles de nylon de 1,5 mm de diamètre enroulé autour d'un support de PVC (B) et placé dans un aquarium de 45 L (C).

2.1.3 Culture en bassins

Lorsque les sporophytes ont atteint une taille de 5-6 mm, environ 1 mois après l'ensemencement, les ficelles ont été coupées en bouts de 5 cm et enfilées dans les torons d'une corde de polypropylène de 12 mm de diamètre (Figure 3A). Les cordes ont été tendues dans un bassin séparé en deux sections de 120 cm x 90 cm et 60 cm de profondeur (Figure 3B). Au total 12 cordes de 1 m de long ont été tendues horizontalement. Dans chaque corde, 10 bouts de 5 cm de ficelle ensemencée ont été insérés à tous les 10 cm (à l'exception d'une corde où les ficelles ont été placées à tous les 5 cm). Nous avons choisi les parties de ficelles dont les plantules étaient les plus développées, soit celles qui étaient en position verticale ou oblique dans l'aquarium. Cependant, nous avons décidé de récupérer aussi les plantules qui étaient sur les ficelles de la section du support de PVC qui était au fond de l'aquarium, même si elles étaient moins développées. Nous avons donc préparé, de plus, 30 cordes de 0,45 m. En raison de contraintes d'espace, ces 30 cordes ont été installées verticalement dans le bassin, en les attachant à intervalle régulier aux cordes de 1 mètre et en leur ajoutant un poids à l'autre extrémité pour les maintenir en position verticale. La longueur des cordes a été déterminée par la profondeur du bassin. Quatre bouts de ficelle ont été insérés à tous les 10 cm dans ces cordes.

Le système a été maintenu en circuit ouvert avec un taux de renouvellement de 2 L/min. L'eau de mer utilisée était filtrée sur sable jusqu'à 20 μm, et contrairement à la première phase de culture, elle était non enrichie et non stérilisée. La température de l'eau a été maintenue à 10°C par l'utilisation d'une thermopompe et la salinité est demeurée autour de 25-29. L'intensité lumineuse a été maintenue à 40 μmole m^{-2} sec^{-1} avec des néons Vita-Lite™ et la photopériode a été ajustée à 12h:12h (L:N). Une certaine agitation de l'eau était assurée par des bulleurs.

A) B)

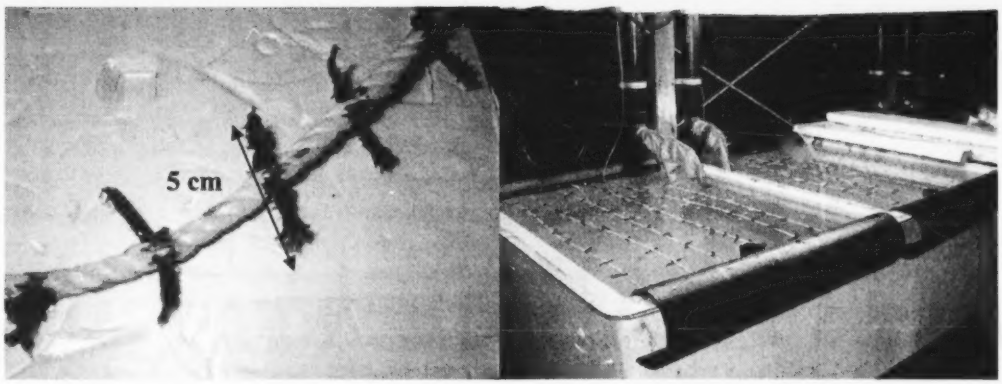


Figure 3. Section de corde de polypropylène montrant les segments de 5 cm de ficelle de nylon insérés dans les torons (A) et montage des cordes dans les bassins à l'IML (B). Les cordes verticales n'apparaissent pas sur cette photo.

2.1.4 Culture en mer

Site d'étude

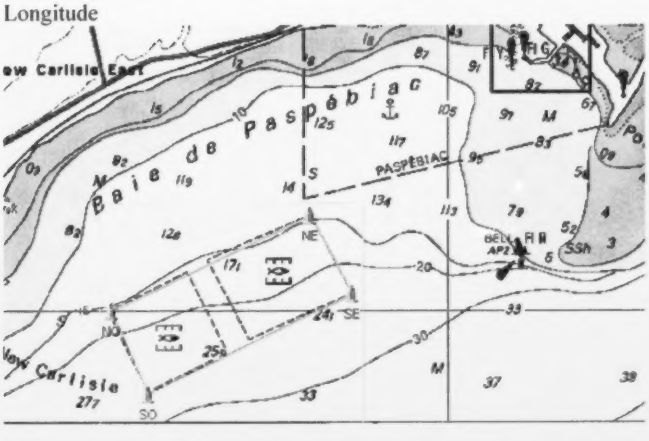
Le transfert en mer a été fait le 12 mai 2006 au large de Paspébiac à l'intérieur d'un site à désignation aquacole (Figure 4). Quatre filières flottantes ont été installées au coin nord-est du site à l'intérieur d'un quadrilatère d'environ 15 m x 15 m. La profondeur à ce site était d'environ 17 m. Une bouée de balise de 20 cm de diamètre x 120 cm de hauteur a été installée sur le site.

Installations

Chacune des quatre filières était constituée d'une corde de 12 m de longueur tendue à 1 m sous la surface de l'eau. Les filières étaient reliées au fond à l'aide de cordes plombées de 26 m de longueur (1,5 fois la profondeur du site) attachées à chaque extrémité de la filière et maintenues au fond par une ancre de 10 kg. Les filières étaient maintenues à 1 m sous la surface par 4 bouées de 20 cm de diamètre installées à tous les 3-4 m. Les 12 cordes de 1 m de long portant les plantules ont été séparées en deux groupes. Six cordes de 1 m (numérotées de 1 à 6) ont été tendues horizontalement à 2 m de profondeur sur une première filière (Figure 5A). Afin qu'elles demeurent à l'horizontale, les cordes ont été attachées à un tuyau de PVC de 1 m. Les six autres cordes ont été suspendues verticalement (numérotées de 7 à 12), entre 2 et 3 m de profondeur, sur une seconde filière (Figure 5B) placée près de la première.
Puisqu'il s'agissait de premiers essais, nous n'avons pas voulu mélanger les deux types

de dispositions sur la même filière. Par contre, puisque les deux filières étaient placées au même site et selon la même orientation, nous avons postulé que l'emplacement n'était pas un facteur pouvant affecter les résultats de manière différente pour les deux dispositions

Nous avons utilisé les cordes de 0,45 m indépendamment de celles de 1 m, pour examiner l'effet de la profondeur. Les cordes ont été installées en groupes de deux, la première corde étant située à 2 m et la seconde à 5 m de profondeur (Figure 5C). Les cordes ainsi montées (numérotées de 1 à 15) ont été installées sur deux filières, à raison de 7 sur une et 8 sur l'autre. Sur chacune des quatre filières, les cordes portant les algues étaient distancées de 2 m environ. Sur chaque corde, les bouts de ficelle de 5 cm ont été numérotés de 1 à 10 (cordes de 1 m) et de 1 à 4 (cordes de 0,45 m). Dans la suite du document, les termes Horizontal et Vertical désigneront respectivement les cordes de 1 m placées horizontalement et verticalement, et les termes 2-mètres et 5-mètres, les cordes de 0,45 m placées verticalement aux profondeurs de 2 et 5 mètres respectivement.



	Latitude	
NO	48 00' 00.0"	65 18' 14.9"
SO	47 59' 37.7"	65 18' 00.0"
SE	48 00' 4.6"	65 16' 38.3"
NE	48 00' 25.6"	65 16' 54.8"

Figure 4. Site aquacole de Paspébiac représenté par le quadrilatère NO, SO SE et NE.

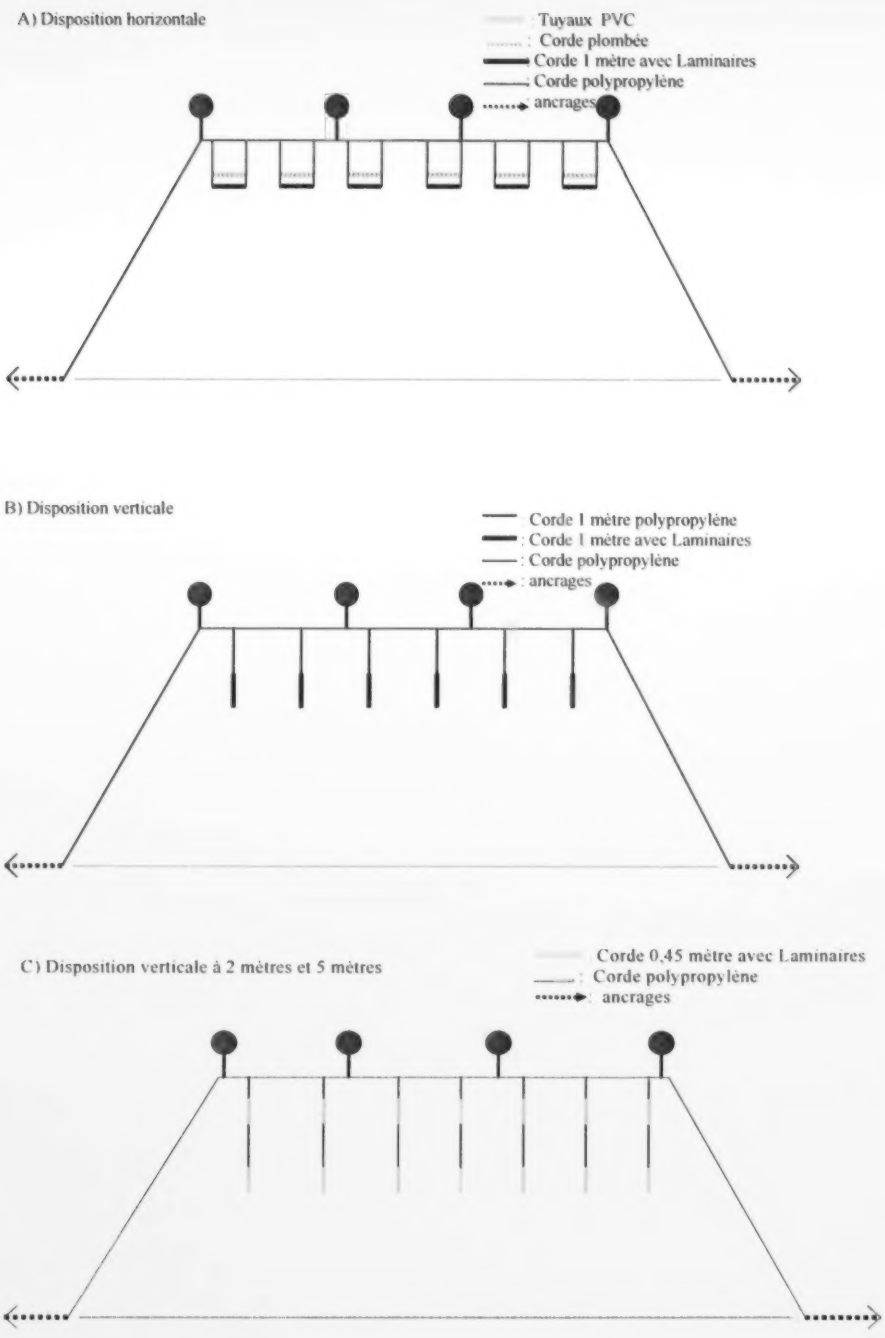


Figure 5. Schéma des filières de Laminaires. A) cordes de 1 m en position horizontale à 2 mètres sous la surface, B) cordes de 1 m en position verticale à partir de 2 mètres sous la surface et C) cordes de 0,45 m en position verticale à 2 et à 5 m sous la surface.

2.2 DÉVELOPPEMENT ET CROISSANCE

2.2.1 Densité – Taille – Accroissement

Au cours du premier mois en aquarium (1er novembre au 5 décembre 2005), le développement de spores-gamétophytes-gamètes-sporophytes s'est fait à une échelle microscopique et le suivi a été fait au moyen d'observations microscopiques réalisées sur des bouts de ficelles prélevés de 2-3 fois par semaine jusqu'au jour 34.

Durant la période de culture en bassins, les sporophytes ont été dénombrés et mesurés à quatre reprises, soit le 20 décembre 2005, et les 9 janvier, 9 février et 9 mars 2006, ce qui correspond respectivement à 48, 70, 101 et 129 jours après l'ensemencement (Tableau 1). À chacune de ces dates, entre 1-3 ficelles de 5 cm provenant des cordes de 1 m placées horizontalement dans les bassins ont été prélevées aléatoirement. Les plants étaient dénombrés et mesurés à l'aide d'un binoculaire au début et à l'oeil nu par la suite avec une règle (± 0,1 mm). Par ailleurs, les 9 février et 9 mars 2006, le nombre et la taille des plants ont été mesurés sur 2 ficelles choisies aléatoirement, provenant des cordes de 0,45 m installés en position verticale.

Après la mise en mer, en général 3 ficelles de 5 cm étaient échantillonnées aléatoirement à tous les mois, pour chaque traitement, pour les dénombrements et mesures des plantules (Tableau 2).

La croissance linéaire des frondes des Laminaires a été mesurée sur un nombre restreint de plants, entre juillet et septembre, pour deux périodes de 35 jours. En juillet, sur chaque fronde sélectionnée (belle apparence et taille >30 cm), un trou a été percé dans la partie centrale de la fronde, dans la zone méristématique de l'algue, à 10 cm de la jonction du stipe et de la fronde. En août et septembre, la distance du trou par rapport à la zone méristématique a de nouveau été mesurée, la différence entre la position initiale et finale du trou donnant une estimation de la croissance linéaire des frondes pour la période donnée (voir Gendron 1989). La croissance a ainsi été mesurée sur 12 algues sélectionnées sur les cordes de 1 m en position horizontale, 10 algues sur les cordes de 1 m en position verticale, 7 algues sur les cordes de 0,45 m à 2 mètres de profondeur et 7 algues sur les cordes de 0,45 m à 5 m de profondeur.

Tableau 1. Culture en bassins : dates d'échantillonnage, nombre de jours après l'ensemencement et nombre d'échantillons (ficelles de 5 cm) prélevés pour les mesures des plantules de décembre 2005 à mars 2006.

Date	Jours après ensemencement	Nombre de ficelles échantillonnées	
		Cordes 1 m	Cordes de 0,45 m
20 décembre 2005	48	1	-
10 janvier 2006	70	1	-
9 février 2006	101	2	2
9 mars 2006	129	3	2

Tableau 2. Culture en mer : dates d'échantillonnage et nombre d'échantillons (ficelles de 5 cm) prélevés pour chacun des traitements de mai à octobre 2006.

Date	Horizontal	Vertical	2-mètres	5-mètres
8 mai 2006	5	3	2	2
12 juin 2006	3	3	3	3
12 juillet 2006	3	3	3	3
22 août 2006	3	3	4	4
26 septembre 2006	3	3	4	4
24 octobre 2006	4	4	6	4

2.2.2. Biomasse

La biomasse produite sur chacune des cordes devait être évaluée à la fin de la saison, soit en décembre 2006. Toutefois, en raison du bryozoaire envahissant (*Membranipora membranacea*) apparu sur les frondes au courant de l'été (voir section 3.1.3 *Épibiontes*), l'expérience a dû être interrompue en cours de route. La récolte de Laminaires s'est effectuée lors de la troisième semaine du mois d'octobre. La récolte a été exprimée en kg par mètre de corde.

2.2.3 Autres espèces

Parmi les espèces ayant colonisé les cordages des filières, les moules bleues (*Mytilus edulis*) ont été récoltées en octobre et pesées et un sous-échantillon a été prélevé pour des mesures de taille. La présence du bryozoaire *M. membranacea*, a eu un impact négatif sur les algues cultivées. Une description de cette espèce est présentée à l'Annexe I et des pistes de solution visant à restreindre sa prolifération et d'atténuer ses impacts négatifs sur les populations aquicoles de Laminaires sont présentées dans la Discussion.

2.3 Variables environnementales

À chaque mois, entre mai et octobre, trois échantillons d'eau de mer ont été recueillis en surface sur le site de culture. Les échantillons d'eau ont été analysés pour leur contenu en sels nutritifs ($NO2^-$, $NO3^-$ et $PO4^{3-}$) par analyseur Technicon. Entre juin et octobre 2006, un thermographe a été installé sur la bouée de balise pour enregistrer la température de l'eau en surface (< 1m).

2.4 Constituants des algues

Des échantillons de Laminaires ont été prélevés aléatoirement en mai (juste avant de les mettre en mer), en juillet et en septembre afin d'en déterminer leurs constituants. Au cours des mêmes périodes, des échantillons de Laminaires sauvages ont aussi été recueillis à proximité du site de culture, à l'aide d'un grappin.

Le profil de constituants a été effectué selon un protocole établi par Océanova Biotechnologies inc., partenaire du projet. Les sucres totaux et les acides uroniques ont été quantifiés par la méthode phénol-sulfurique (Dubois *et al.* 1956) et la méthode de Blumenkrantz (Blumenkrantz et Asboe-Hansen 1973). Les minéraux (Calcium, magnésium, sodium et potassium) ont été déterminés par ICP-OES (Optima 4300DV, Perkin-Elmer, USA). Le contenu en sulfates a été déduit de la quantité de soufre présent dans l'échantillon (% groupements sulfate = 3,22 x S) (Roger *et al.* 2004). Les monosaccharides ont été libérés par hydrolyse complète du PS (Kamerling *et al.* 1975, Montreuil *et al.* 1986) et quantifiés par GLC après dérivatisation (Chaplin 1986, Nichols *et al.* 2004). L'ensemble des tests a été réalisé en triplicata. Le contenu total en azote a été établi par la méthode automatisée Leco 203-821-029, mimant la méthode de Kjeldahl.

2.5 Analyse des données

Des statistiques descriptives ont été compilées pour l'ensemble des variables mesurées. Des tests de comparaisons de moyennes ont été effectués sur les données d'accroissements linéaires et sur les données de constituants, à l'aide du test *t* de Student (Sokal et Rohlf 1995), en postulant la normalité des données ou la robustesse du test à un écart de la normalité. Les accroissements linéaires des algues des cordes de 1 m (traitements Horizontal et Vertical) ont été comparés séparément de ceux des algues des cordes de 0,45 m (traitements 2-mètres et 5-mètres). Les données de morphométrie ont été décrites à l'aide de régressions linéaires et comparées par une analyse de covariance (Sokal et Rohlf 1995).

3.0 RÉSULTATS

3.1 DÉVELOPPEMENT ET CROISSANCE

3.1.1 Préculture

L'ensemencement des ficelles de nylon a été réalisé le 1er novembre 2005. La confirmation de la réussite de l'ensemencement et du développement des algues a été confirmée 14 jours (J14) après l'ensemencement par la présence de sporophytes de 10-20 cellules (Figure 6A). Le développement subséquent s'est fait assez rapidement et 24 jours après l'ensemencement (J24), des sporophytes bien développés étaient visibles sur l'ensemble des ficelles (Figure 6B). Quelques jours plus tard, ceux-ci montraient un début de développement de crampon, un stipe bien différencié (Figure 6C) ainsi qu'un début d'épaississement de la partie centrale des frondes (Figure 6D). À ce stade, les plantules mesuraient environ 1-2 mm de longueur totale. Environ cinq semaines après l'ensemencement (J34), les ficelles étaient complètement recouvertes de sporophytes (Figure 7A). Leur densité n'a cependant pas été mesurée à ce moment.

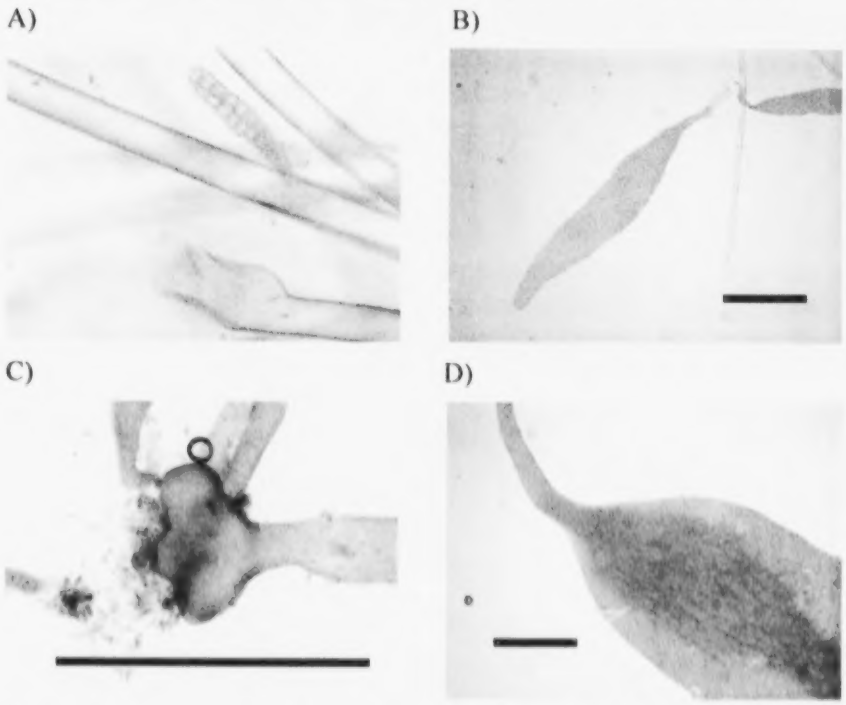


Figure 6. Apparence des sporophytes, A) 14 jours, B) 24 jours et C), D) 28 jours après l'ensemencement. À 28 jours, la longueur totale des plantules était d'environ 1-2 mm. Les lignes horizontales représentent approximativement 100 µm.

Après 43 jours, la taille moyenne des frondes de quatre échantillons de 30 sporophytes, parmi les plus développés (Figure 7B) était de 5,7 ± 2,4 mm et 5,5 ± 2,1 mm pour les algues provenant de la partie exposée aux néons qui étaient situés au-dessus et à l'arrière de l'aquarium, et de 3,4 ± 1,2 mm et 4,2 ± 1,0 mm pour les algues provenant de la partie inférieure du support demeurée au fond de l'aquarium. Le support en PVC n'a pas été retourné au cours de cette période de croissance si bien que les sporophytes n'ont pas bénéficié de la même intensité lumineuse, ce qui s'est reflété sur leur croissance.

A) B)

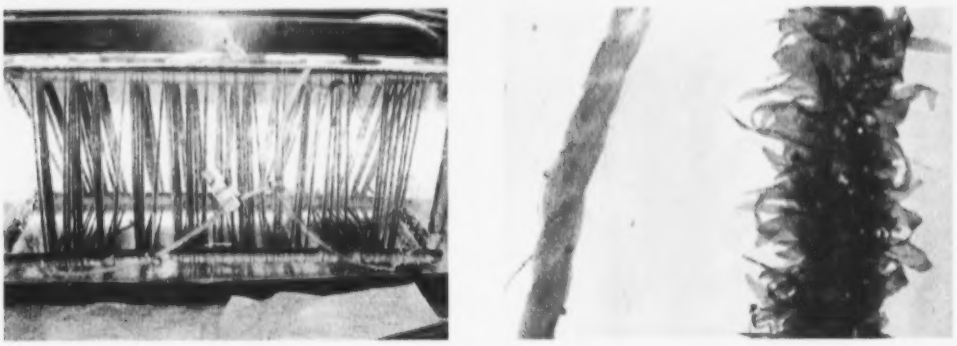


Figure 7. Apparence des ficelles A) dans l'aquarium 34 jours après l'ensemencement et B) en comparaison avec une ficelle non ensemencée. Les frondes des plantules atteignent 4-6 mm de longueur.

3.1.2 Culture en bassins

Entre le 20 décembre 2005 et le 9 mars 2006, soit entre 48 et 129 jours après l'ensemencement, la densité des frondes sur les ficelles de 5 cm est passée d'un total de 1283 à 66 en moyenne (Tableau 3, Figure 8). En décembre, 82,4 % des frondes étaient de taille inférieure à 2 mm. En février, plus de la moitié des frondes était de taille inférieure à 10 mm, alors que le 9 mars, elles étaient toutes supérieures à 10 mm et leur taille moyenne atteignait de 81,5 à 90,8 mm (Tableau 3 et Figure 9). La croissance est passée d'environ 0,21 mm par jour entre le 20 décembre et le 10 janvier à 1,2 mm par jour entre le 9 février et le 9 mars. L'étendue des tailles observées en mars était large, et les plus grandes Laminaires atteignaient 285 mm (Figure 9). La morphologie des plants était en général normale, avec un stipe et un crampon bien développés (Figure 10). À l'occasion, les frondes pouvaient être d'allure un peu fripée et l'extrémité des plantules légèrement courbée.

De façon générale, la taille des Laminaires sur les ficelles des cordes de 0,45 m placées verticalement dans le bassin, sous les cordes horizontales, était plus petite. En février, la taille moyenne des frondes était de 25,0 ± 16,3 mm et 10,3 ± 7,0 mm pour chacun des deux échantillons analysés. Les densités respectives étaient de 43 et 18 plantules. En mars, les tailles moyennes étaient de 66,2 ± 55,1 mm et de 43,2 ± 19,5 mm et seulement 18 et 22 plantules ont été observées sur les ficelles.

Tableau 3. Culture en bassins : densité et taille (moyenne (mm) ±erreur-type) des frondes provenant des cordes de 1 m en position horizontale en fonction des dates d'échantillonnage. Seuls les sporophytes dont la longueur totale était ≥ 1mm ont été considérés.

	Densité Nombre de plantules /5 cm ficelle			**Taille des frondes** (plantules longueur totale ≥ 1mm)		
	1-2 mm	2-10 mm	≥ 10 mm	1-2 mm	2-10 mm	≥ 10 mm
20 déc. 2005 (J48) 1 échantillon	1057	196	30	≈1,5mm*	≈5,0 mm*	16,0±1,4
10 janvier 2006 (J70) 1 échantillon	_	237	132	_	≈5,0 mm*	20,7±1,8
9 février 2006 (J101) 2 échantillons	_	57 41	42 53		3,3±2,1** 4,4±2,7***	53,0±10,0 54,3±9,1
9 mars 2006 (J129) 3 échantillons	_	_	61 65 71	_	_	90,8±6,7 81,5±6,9 89,2±7,5

s; *** taille évaluée à

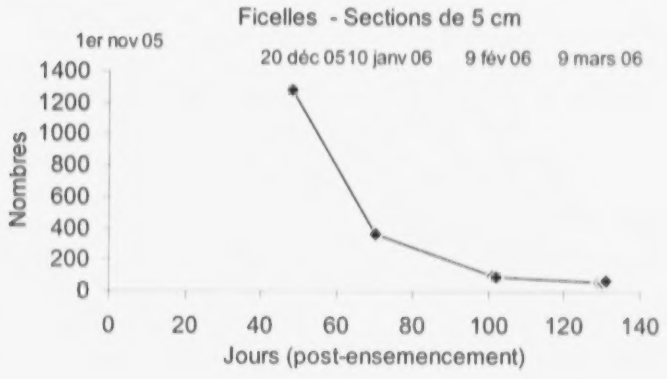


Figure 8. Nombre de plants par bout de 5 cm de ficelle entre le 20 décembre 2005 et le 9 mars 2006, soit entre 48 et 129 jours après l'ensemencement.

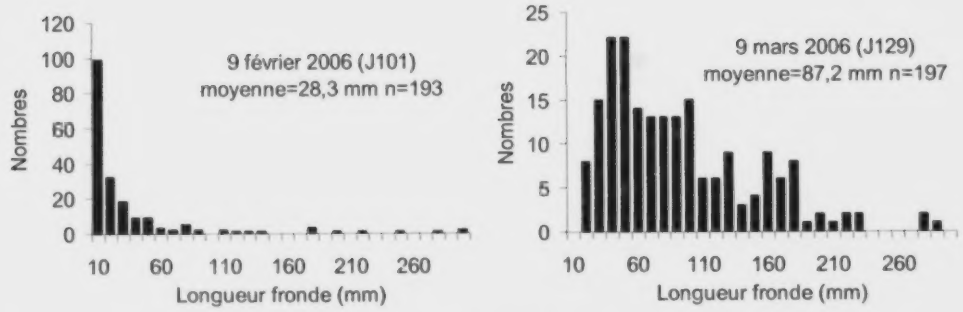


Figure 9. Distribution des fréquences de taille des frondes de Laminaires les 9 février et 9 mars 2006, 101 et 129 jours après l'ensemencement.

Figure 10. Aspect morphologique des plants observés le 9 mars 2006, soit 129 jours après l'ensemencement. Frondes (panneau de gauche), stipe et crampon (panneau de droite).

3.1.3 Culture en mer

Densité des plants

Le nombre moyen de plants présents sur les bouts de ficelle de 5 cm échantillonnés de mai à octobre 2006 pour chacun des traitements est présenté au Tableau 4. L'évolution du nombre moyen de plants a été le même peu importe le traitement. Au départ, soit en mai 2006, le nombre moyen de plants (±erreur-type) sur les cordes des traitements Horizontal et Vertical était assez semblable, soit 49,4±7,7 et 62,3±7,3 respectivement. Les cordes de 0,45 m avaient au départ une densité de plants de 66,0 ±5.0.

Tableau 4. Nombre moyen (±erreur-type) de plants par bout de ficelle de 5 cm (n) pour chaque traitement de mai à octobre 2006.

	Horizontal	Vertical	2-mètres	5-mètres
Mai	49,4 ± 7,7	62,3 ± 7,3	66,0 ± 5,0*	
	n=5	n=3	n=2	
Juin	103,3 ± 24,0	63,3 ± 8,7	77,7 ± 26,3	64,0 ± 17,2
	n=3	n=3	n=3	n=3
Juil.	59,3 ± 12,0	49,7 ± 6,1	53,7 ± 7,8	62,3 ± 5,8
	n=3	n=3	n=3	n=3
Août	40,0 ± 9,4	27,3 ± 3,8	45,5 ± 3,5	24,8 ± 4,0
	n=3	n=3	n=4	n=4
Sept.	13,0 ± 0,7	28,3 ± 3,4	12,3 ± 3,5	17,3 ± 4,1
	n=3	n=3	n=4	n=4
Oct.	4,8 ± 2,5	9,8 ± 1,2	9,3 ± 2,5	7,3 ± 0,6
	n=4	n=4	n=6	n=4

*Seulement deux ficelles de 5 cm ont été échantillonnées en mai 2006 parmi les cordes de 0,45 m .

Le nombre moyen de plants par ficelle est resté plutôt stable de mai à juillet, quelque soit le traitement. La forte valeur observée en juin sur les ficelles du traitement Horizontal reflète la variabilité du nombre de plants par ficelle et le fait qu'une d'entre elles portait 149 plants. En août, le nombre de plants a commencé à diminuer et en septembre, peu importe le traitement, ils étaient en nombre beaucoup plus faible qu'au moment de leur mise à l'eau en mai, parfois jusqu'à cinq fois moins élevé. La densité moyenne des plants (±erreur-type) observée en octobre était très faible, allant de 4,8±2,5 à 9,8±1,2 selon les traitements. Les valeurs les plus faibles ont été observées sur les cordes du traitement Horizontal. En octobre, plusieurs plants avaient perdu leurs frondes, et ce dans une proportion allant jusqu'à 68 %, pour les cordes du traitement Vertical (voir section 3.1.3 *Morphologie des plants, bris et déformations*). Ces diminutions et pertes sont attribuables à la colonisation des Laminaires par le bryozoaire *M. membranacea* dès le mois d'août 2006 (voir section 3.1.3 *Épibiontes*). À partir de cette date, le bryozoaire s'est développé rapidement sur les frondes, les a fragilisées, entraînant leur cassure.

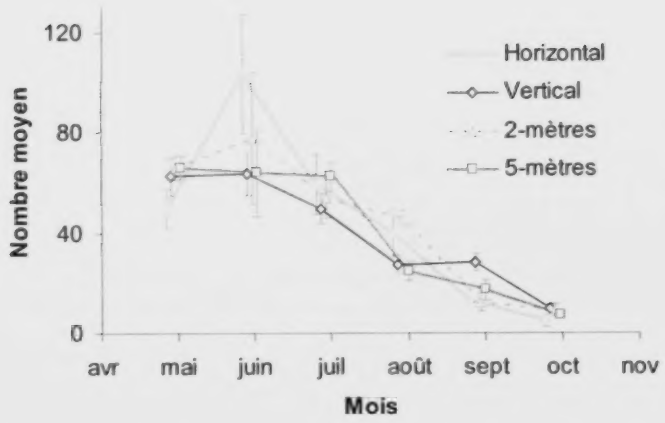


Figure 11. Nombre moyen de plants (±erreur-type) sur des échantillons de ficelles de 5 cm lors de la culture en mer sur filières selon 4 traitement entre mai et octobre 2006.

Taille des plants

La longueur de la fronde et la longueur du stipe ont été mesurées sur tous les plants poussant sur les ficelles (sauf certains stipes en mai sur les ficelles des cordes de 0,45 m). La largeur de la fronde a principalement été mesurée en mai et juin. À partir du mois d'août, les mesures de stipes étaient parfois plus nombreuses que les mesures de frondes étant donné la proportion plus élevée de frondes manquantes. Tous les plants d'un même traitement ont été combinés pour le calcul des moyennes (Tableau 5). Au moment de la mise à l'eau des plants, en mai 2006, la taille moyenne des frondes variait entre 4,7 et 6,4 cm pour les traitements Horizontal et Vertical respectivement et était de 1,3 cm pour les traitements 2-mètres et 5-mètres (Tableau 5). Il est à noter que les algues ont régressé entre mars et mai lors de la culture en bassins (voir Discussion). En mai, les tailles moyennes par ficelle étaient en général similaires pour le traitement Horizontal, variant de 4,1 à 6,2 cm et pour les traitements 2-mètres et 5-mètres (1,2 et 1,5 cm). Elles étaient un peu plus variables pour le traitement Vertical (4,1 à 9,0 cm). À ce moment, la taille des stipes variait de 0,4 à 2,7 cm selon les traitements. La taille moyenne des frondes est passée de 6,4 cm en mai à 31,6 cm en août, pour le traitement Vertical, soit un accroissement de 25,2 cm (Tableau 5 et Figure 12). L'augmentation de la taille des frondes a été moindre pour le traitement Horizontal, soit environ 13 cm, pour la période de mai à août (Tableau 5 et Figure 12). En août, la taille moyenne des frondes du traitement Horizontal était très variable selon la ficelle, variant selon un facteur de trois (11,7 à 32,6 cm). Elle était moins variable pour le traitement Vertical (23,7 à 37,8 cm).

La taille moyenne des frondes est passée de 1,3 cm en mai à 22,8 cm en août, pour le traitement 5-mètres, soit un accroissement de 21,5 cm (Tableau 5 et Figure 12). Pour le traitement 2-mètres, la taille moyenne n'a augmenté que de 14 cm environ (Tableau 5 et Figure 12). En août, la taille moyenne était assez constante d'une ficelle à l'autre (13,7 à 17,1 cm pour 2-mètres et 17,1 à 27,4 pour 5-mètres).

Les distributions des fréquences de taille des frondes montrent un mode important autour de 1-2 cm en mai pour tous les traitements (Figures 13 et 14). Par la suite, la distribution s'étale, laissant voir un accroissement de taille très variable entre les individus. Des frondes atteignant 80 cm de longueur ont été observées à partir de juillet sur les cordes du traitement Vertical. Au même moment, on observait encore beaucoup de frondes dont la taille était inférieure à 10 cm.

Après le mois d'août, la taille moyenne s'est stabilisée ou a diminué selon les cas (Figure 12). Les structures de tailles montrent bien la disparition des plus grandes frondes à partir de cette date, alors que le bryozoaire avait commencé à coloniser les Laminaires. Les Laminaires sur les cordes du traitement 5-mètres semblent cependant avoir été moins affectées que les autres, et en septembre, on observait encore des frondes dont la taille se situait entre 60 et 80 cm (Figures 13 et 14). En octobre, c'est sur les cordes du traitement 5-mètres que la taille des frondes était la plus grande. Une seule fronde de taille supérieure à 1 m (1,34 m) a été observée, en octobre pour le traitement 2-mètres.

La taille des stipes s'est accrue au cours de la saison, mais de façon différente selon les traitements. La taille moyenne des stipes était plus grande pour le traitement Vertical (Tableau 5). En septembre, la longueur moyenne était de 18,9 ± 2,3cm, ce qui représente une valeur au moins deux fois plus élevée que celles des trois autres traitements. Par ailleurs, en août et en septembre, les stipes étaient plus longs sur le traitement 5-mètres que sur le 2-mètres.

Tableau 5. Longueur et largeur des frondes et longueur des stipes des Laminaires (moyenne (cm) ±erreur-type) mesurées entre mai et octobre 2006 pour chaque traitement.

Mois	Horizontal			Vertical		
	Fronde		Stipe	Fronde		Stipe
	Longueur	Largeur	Longueur	Longueur	Largeur	Longueur
Mai	4,7 ± 0,3 n=247	1,2 ± 0,1 n=242	1,3 ± 0,2 n=232	6,4 ± 0,5 n=187	1,3 ± 0,1 n=187	2,7 ± 0,3 n=187
Juin	5,9 ± 0,3 n=308	1,8 ± 0,1 n=305	1,0 ± 0,1 n=302	10,3 ± 0,7 n=187	3,5 ± 0,2 n=186	2,3 ± 0,2 n=184
Juillet	14,5 ± 0,9 n=178		3,6 ± 0,4 n=177	17,8 ± 1,4 n=148		5,1 ± 0,7 n=147
Août	17,5 ± 1,4 n=110	20,7 ± 2,3 n=3	4,6 ± 0,7 n=109	31,6 ± 2,4 n=60	20,0 n=1	14,4 ± 1,5 n=82
Septembre	19,0 ± 2,6 n=19		7,4 ± 0,9 n=35	19,6 ± 2,3 n=47		18,9 ± 2,3 n=63
Octobre	18,5 ± 2,3 n=19		4,2 ± 0,6 n=16	20,3 ± 3,9 n=19		16,7 ± 2,4 n=33
	2-mètres			5-mètres		
	Fronde		Stipe	Fronde		Stipe
	Longueur	Largeur	Longueur	Longueur	Largeur	Longueur
Mai	1,3 ± 0,1 n=132	0,7 ± 0,03 n=38	0,4 ± 0,1 n=38	*Idem 2-mètres*		
Juin	3,1 ± 0,2 n=233	1,0 ± 0,1 n=233	0,3 ± 0,2 n=228	5,0 ± 0,4 n=192	1,5 ± 0,1 n=192	0,5 ± 0,04 n=187
Juillet	13,3 ± 1,0 n=161	12,0 ± 2,0 n=2	5,1 ± 8,4 n=147	11,6 ± 0,9 n=187		1,6 ± 0,2 n=187
Août	15,5 ± 0,8 n=172		2,1 ± 2,4 n=170	22,8 ± 1,5 n=97		3,9 ± 0,5 n=96
Septembre	15,4 ± 2,2 n=33		3,8 ± 2,1 n=31	25,9 ± 2,4 n=55	9,0 n=1	7,0 ± 1,0 n=47
Octobre	19,3 ± 3,3 n=48		7,8 ± 8,3 n=51	25,2 ± 3,8 n=17		8,7 ± 1,4 n=25

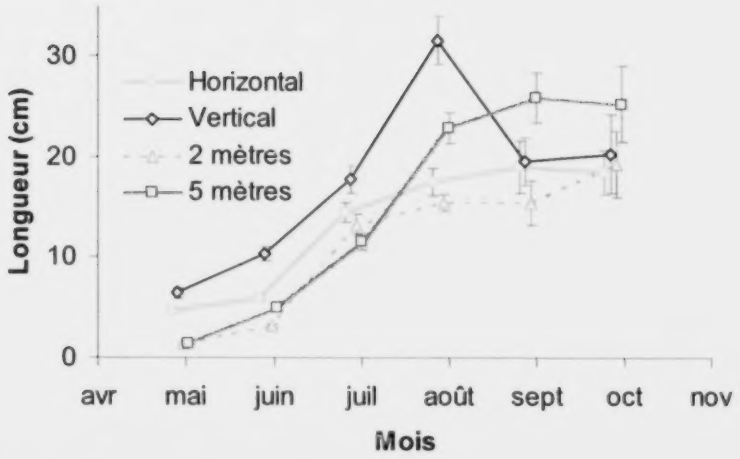


Figure 12. Longueur moyenne des frondes (±erreur-type) mesurée lors de la culture en mer au large de Paspébiac selon 4 traitements entre mai et octobre 2006.

Accroissement linéaire des plants

L'accroissement linéaire de l'ensemble des frondes mesuré entre le 18 juillet et le 22 août 2006 (35 jours) a été en moyenne de 19,2 cm contre 15,5 cm entre le 22 août et le 26 septembre 2006 (35 jours) (Figure 15). Pour la période juillet-août, l'accroissement a été significativement plus élevé ($p<0,05$) pour le traitement Vertical que pour le traitement Horizontal, soit 23,5 cm et 15,8 cm respectivement. Ces accroissements linéaires correspondent à des taux de croissance journaliers respectifs de 0,61 et 0,45 cm/jour. Les taux de croissance observés dans les traitements 2-mètres et 5-mètres étaient significativement différents et plus élevés pour le traitement 5-mètres, soit 21,6 cm contre 15,1 cm, correspondant à des accroissement journaliers de 0,61 et 0,43 cm/jour.

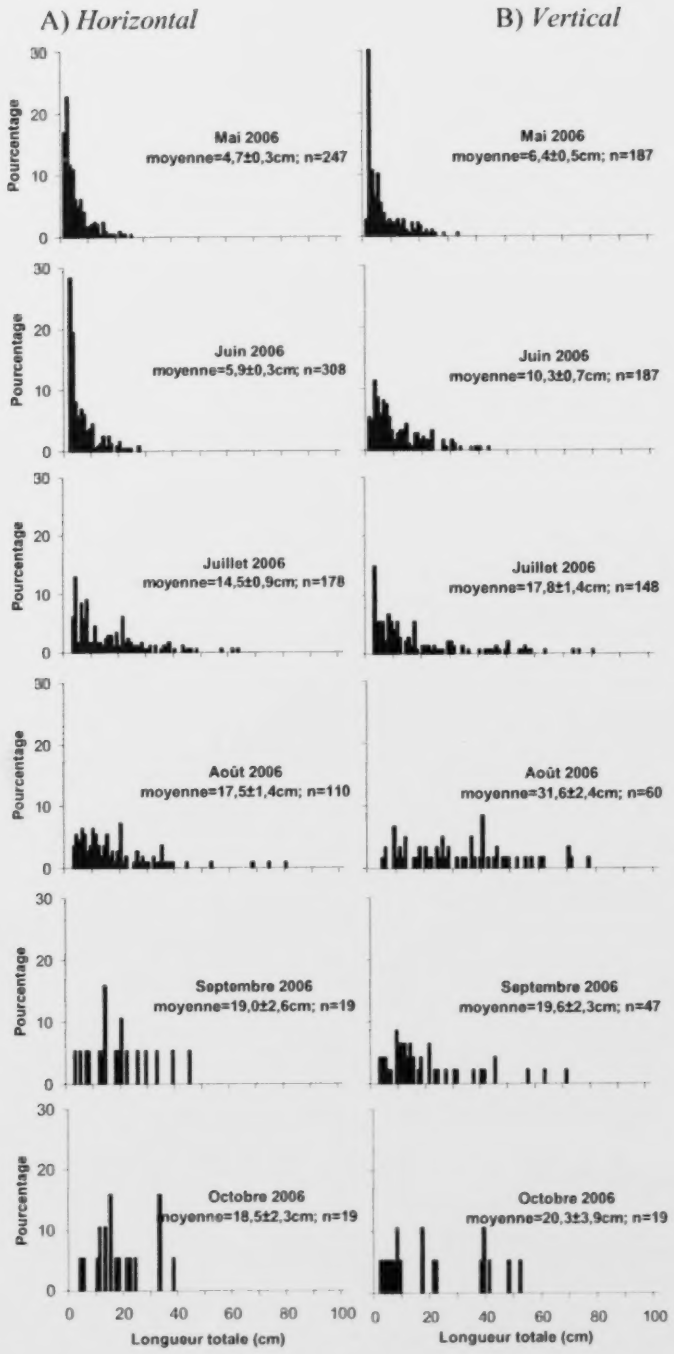


Figure 13. Distributions des fréquences de taille des frondes de Laminaires de mai à octobre 2006 pour les traitements A) Horizontal et B) Vertical (moyenne±erreur-type).

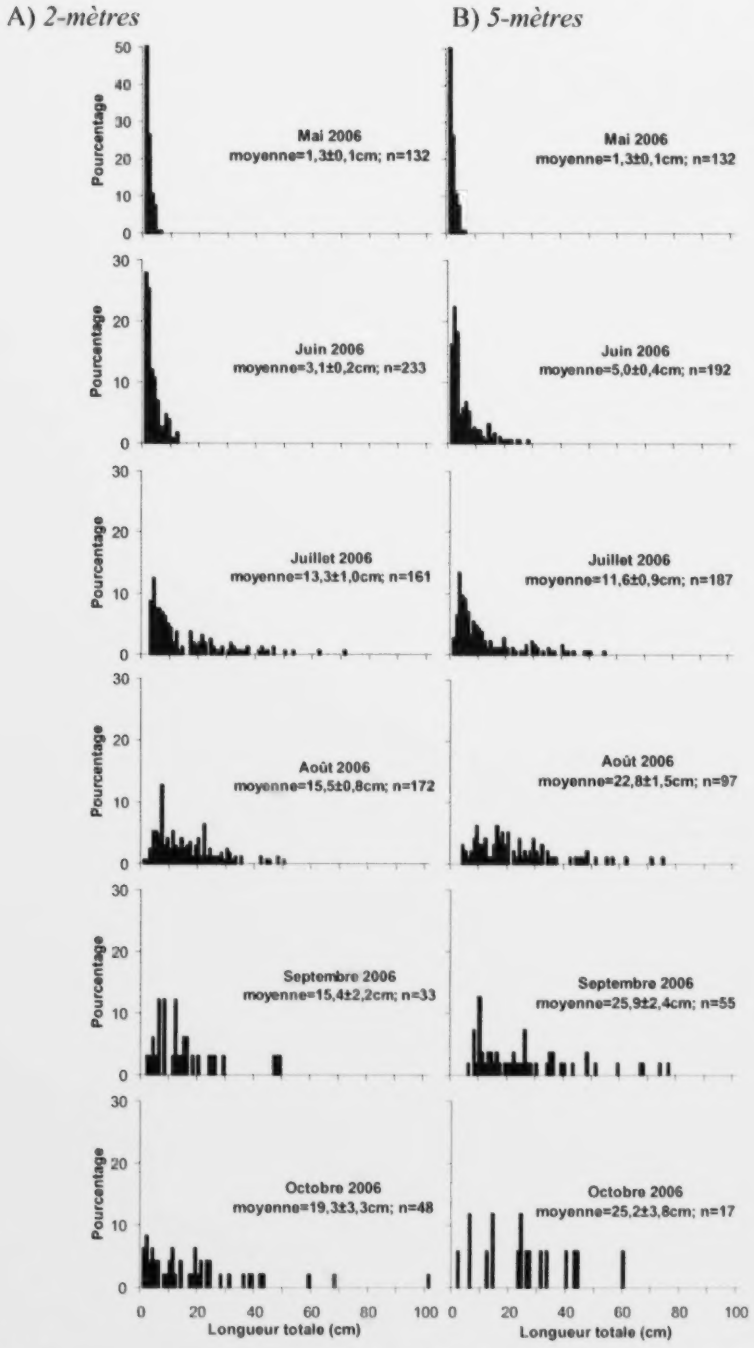


Figure 14. Distribution des fréquences de taille des frondes de Laminaires de mai à octobre 2006 pour les traitements A) 2-mètres et B) 5-mètres (moyenne±erreur-type).

Pour la période août-septembre, l'accroissement était significativement plus élevé ($p<0,001$) pour le traitement Horizontal (20,3 cm) que pour le traitement Vertical (11,0 cm), correspondant à de accroissements journaliers de 0,58 et 0,31 cm/jour. L'accroissement était plus élevé pour le traitement 5-mètres (26,5 cm) que 2-mètres (6,5 cm), correspondant à des accroissements journaliers de 0,75 cm et 0,19 cm/jour. En raison de faibles effectifs et de la variance élevée observée dans le traitement 5-mètres, la différence n'est pas significative ($p>0,05$). Mis à part le traitement 5-mètres, les accroissements étaient significativement différents en août-septembre par rapport à juillet-août. Pour deux traitements (Vertical et 2-mètres), les accroissements étaient plus faibles en août-septembre. Pour le traitement Horizontal, l'accroissement était plus élevé en août-septembre qu'en juillet-août, soit 20,3 cm contre 15,7 cm.

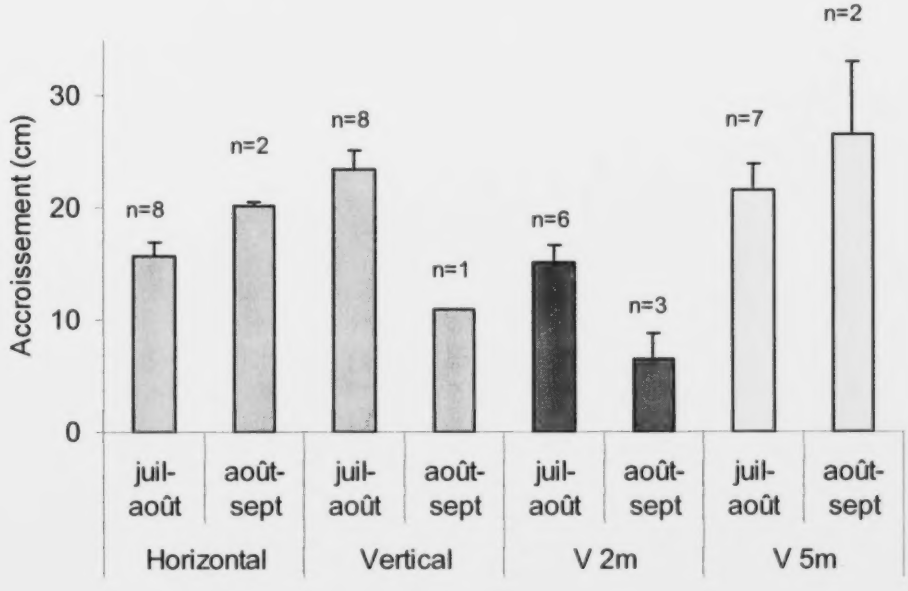


Figure 15. Accroissement linéaire moyen (±erreur-type) des frondes de Laminaires mesuré pour deux périodes de 35 jours, du 18 juillet au 22 août et du 22 août au 26 septembre 2006 sur un total initial de 36 algues. (n=nombre d'algues mesurées à chaque période et pour chaque traitement).

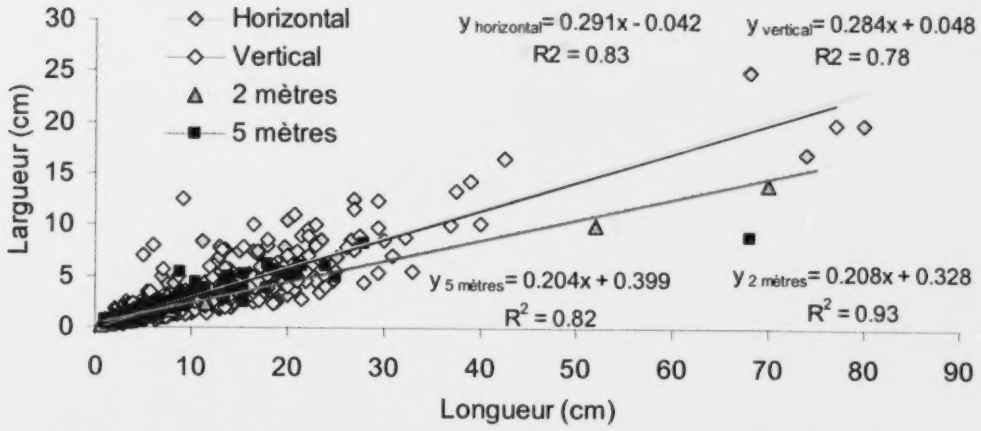


Figure 16. Régressions linéaires entre la longueur et la largeur des frondes des Laminaires mesurées en mai et juin 2006 pour les traitements Horizontal, Vertical, 2-mètres et 5-mètres.

Morphologie des plants, bris et déformations

La morphologie des frondes est apparue différente selon les traitements. La relation entre la longueur et la largeur des frondes observée en mai et juin montre des frondes généralement plus étroites et effilées sur les traitements 2-mètres et 5-mètres, comparativement à des frondes plus larges pour les algues des traitements Horizontal ou Vertical (Figure 16). Cependant, seuls les traitements Vertical et 2-mètres diffèrent significativement quant à la pente des droites de régression ($p<0,05$).

Certaines particularités morphologiques des plants sont apparues tout au long de la période de croissance en mer. Ainsi, au cours des deux ou trois premiers mois on a commencé à voir des frondes coupées (Figure 17A) ou déformées (Figure 17B). Bien souvent, la déformation consistait en une courbure de la partie supérieure des frondes. L'occurrence de ces particularités était cependant faible. Le nombre de frondes coupées a considérablement augmenté à la fin de l'été alors que les frondes étaient colonisées par le bryozoaire envahissant. En octobre, entre 14 % et 26 % des frondes étaient coupées. À cela s'ajoutaient aussi plusieurs stipes sans fronde. Les frondes colonisées par le bryozoaire devenaient très cassantes et se détachaient du stipe lorsqu'elles étaient soumises à la turbulence de l'eau. Le pourcentage de stipes sans fronde était très élevé en septembre et octobre, atteignant un maximum de 68 % (Figure 17C). Enfin, nous avons aussi observé en septembre beaucoup de fragments de frondes, non associées à un stipe et retenues ensemble et sur la ficelle ou la corde par le byssus de moules (Figure 17D). Jusqu'à 35 % des frondes examinées en septembre dans le traitement 2-mètres étaient ainsi fragmentées. En octobre, les frondes fragmentées s'étaient complètement détachées des cordes.

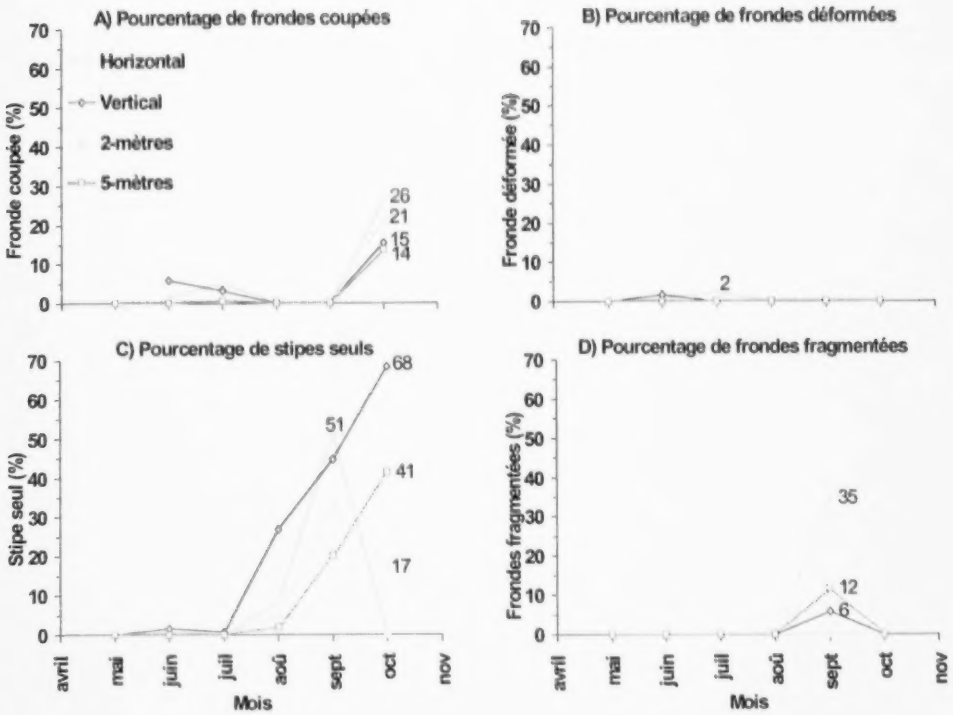


Figure 17. Particularités morphologiques des plants de Laminaires de mai à octobre 2006 pour chacun des traitements : A) Frondes coupées, B) Frondes déformées, C) Stipe seul, et D) Frondes fragmentées.

Biomasse

Lors de la récolte en octobre 2006, toutes les Laminaires et les moules présentes sur les ficelles de 5 cm ont été pesées. Les poids des frondes et des stipes ont été notés séparément (Figure 18AB et Tableau 6). Pour chaque traitement, le poids moyen par ficelle a été calculé et une estimation du poids moyen par mètre de corde a été faite (kg/m), sur la base de 10 ficelles par mètre de corde. Ce calcul a été fait pour permettre la comparaison des traitements entre eux ainsi qu'avec d'autres expériences de ce type. En octobre, les Laminaires étaient très abîmées. Les poids estimés (kg/m) étaient très faibles. C'est pour le traitement 5-mètres que la biomasse était la plus élevée avec une valeur de 1,66 kg/m. Ceci est deux fois plus élevé que ce qui a été observé pour le traitement 2-mètres, soit 0,81 kg/m. Les cordes du traitement Vertical, avec 1,27 kg/m ont donné un rendement supérieur (plus du double) que les cordes du traitement Horizontal avec seulement 0,57 kg/m. Il est à noter que la proportion de biomasse constituée de frondes et de stipes était différente selon les traitements. Ainsi, dans le traitement Vertical, la proportion de poids constituée de stipes atteignait 46 %. Cette proportion était de seulement 13 % dans le traitement 5-mètres (Figure 18 B). Les plus fortes valeurs

pourraient indiquer une plus forte perte de frondes ou encore pourraient refléter le fait que les stipes étaient plus longs, du moins pour le traitement Vertical. Le pourcentage de biomasse constitué de stipes était de l'ordre de 30 % pour les deux autres traitements.

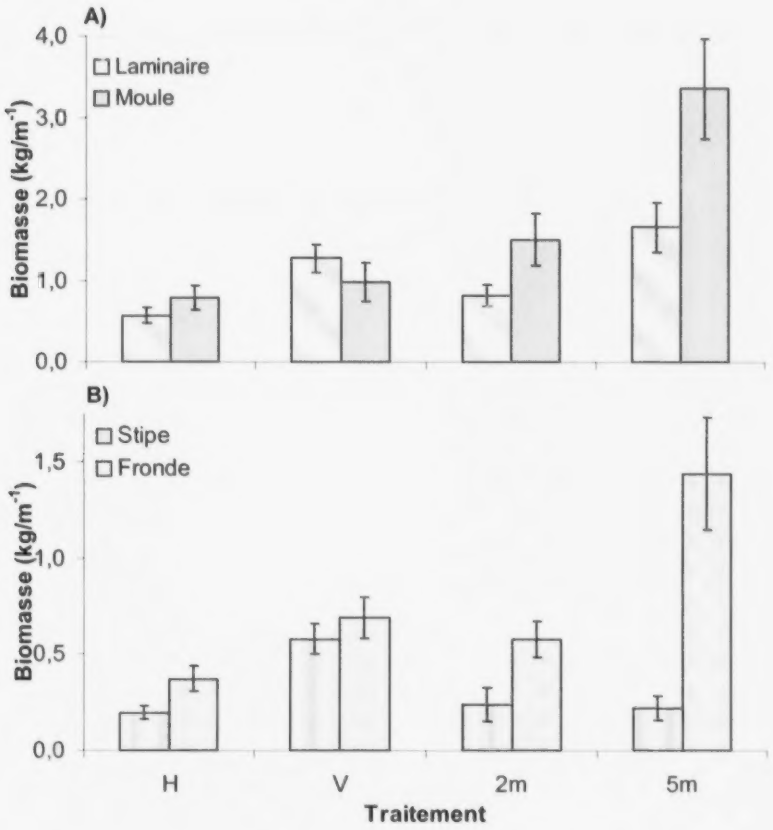


Figure 18. Biomasse estimée (kg/m de corde ±erreur-type) A) de Laminaires et de moules et B) de frondes et de stipes lors de la récolte d'octobre 2006 pour les traitements Horizontal (H), Vertical (V), 2-mètres (2m) et 5-mètres (5m).

Tableau 6. Biomasse (kg par mètre de corde) de Laminaires, de stipes, de frondes et de moules lors de la récolte en octobre 2006 pour les différents traitements.

	Horizontal	Vertical	2-mètres	5-mètres
Laminaires	0,57 ± 0,09	1,27 ± 0,17	0,81 ± 0,14	1,66 ± 0,31
Stipes	0,20 ± 0,04	0,58 ± 0,08	0,24 ± 0,09	0,22 ± 0,06
Frondes	0,37 ± 0,07	0,69 ± 0,10	0,58 ± 0,10	1,44 ± 0,29
Moules	0,78 ± 0,15	0,98 ± 0,23	1,50 ± 0,31	3,36 ± 0,62

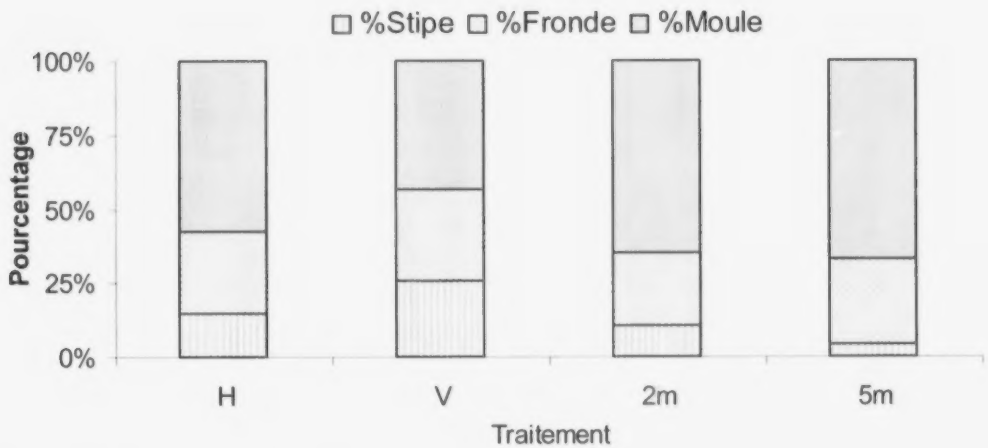


Figure 19. Proportion de la biomasse totale récoltée sur les cordes en octobre 2006 constituée de stipes et de frondes de Laminaires ainsi que de moules pour les traitements Horizontal (H), Vertical (V), 2-mètres (2m) et 5-mètres (5m).

Épibiontes

Associées aux Laminaires, on a retrouvé également des biomasses moyennes élevées de moules bleues (*Mytilus edulis)* (Figures 18A et 19). On a commencé à voir apparaître les moules bleues sur les cordes en juillet sous forme de petit naissain « pepper seed ». Les moules avaient une taille d'environ 1 mm. En octobre, les biomasses moyennes de moules surpassaient celles des Laminaires pour les traitements Horizontal, 2-mètres et 5-mètres, atteignant respectivement 58 %, 65 % et 67% de la récolte (Figure 19).

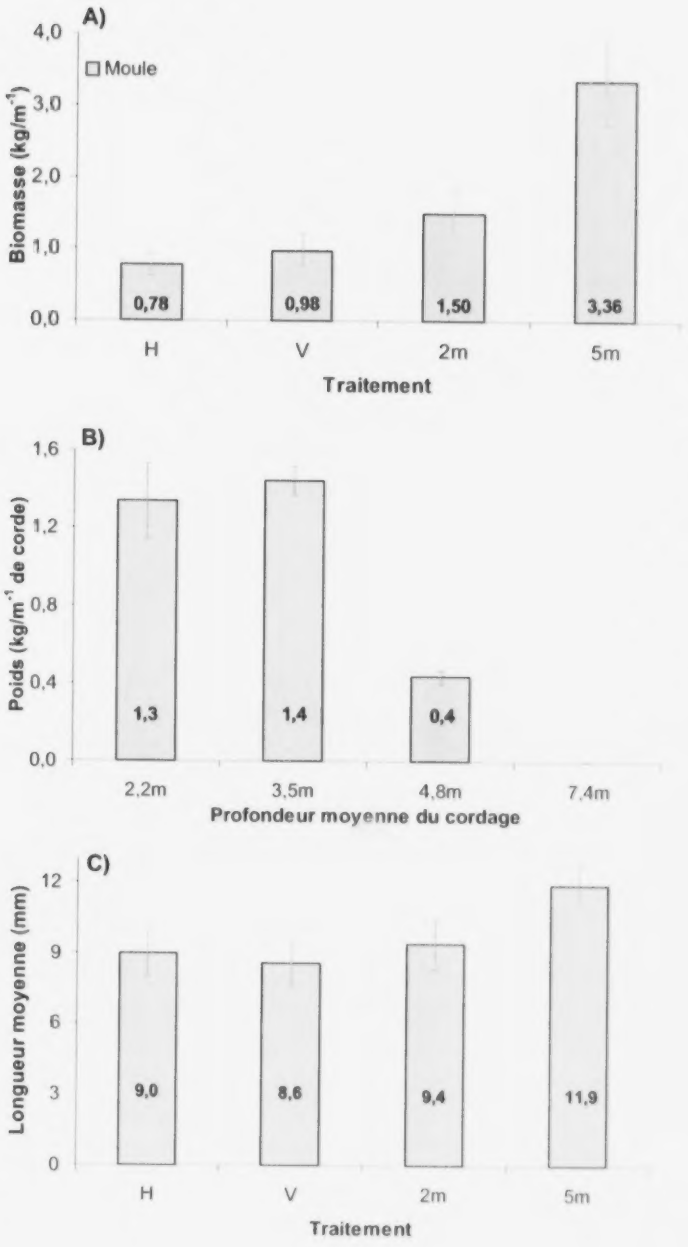


Figure 20. Biomasse de moules A) pour les différents traitements, B) à différentes profondeurs sur la ligne d'amarrage des filières et C) longueur moyenne des moules fixées sur les ficelles pour chacun des traitements (±erreur-type).

La biomasse de moules observée en octobre a varié entre 0,78 kg/m pour le traitement Horizontal et 3,36 kg/m pour le traitement 5-mètres (Figure 20A). La biomasse de moules a aussi été mesurée à différents endroits sur les cordes d'ancrage des filières. La biomasse de moules était très élevée aux profondeurs de 2,2 m et 3,5 m, atteignant 1,3-1,4 kg/m. Ces biomasses sont comparables à ce qui a été observé pour les traitements Horizontal, Vertical et 2-mètres, situés approximativement aux mêmes profondeurs (Figure 20B). La biomasse de moules sur les lignes d'amarrage des filières était cependant plus faible à 4,8 m et était nulle à 7,4 m. Ceci est différent de ce qui a été observé sur les cordes du traitement 5-mètres. Il se pourrait donc que la présence de frondes à cette profondeur ait favorisé la fixation des jeunes naissains de moules. Au moment de la récolte, ces moules mesuraient en moyenne 2 à 3 mm de plus que les moules des autres traitements (Figure 20C). Les moules étaient davantage retrouvées au niveau des crampons des algues mais des filaments du byssus se retrouvaient aussi sur les stipes et les frondes.

Par ailleurs, après plus de trois mois en mer, les frondes de Laminaires ont toutes été colonisées par un bryozoaire envahissant, *M. membranacea* (Figure 21). Cette présence, faible au mois d'août, s'est accrue en septembre de telle sorte que nous avons dû prendre la décision de mettre fin au projet en octobre plutôt qu'en décembre, en raison de la perte importante d'algues.

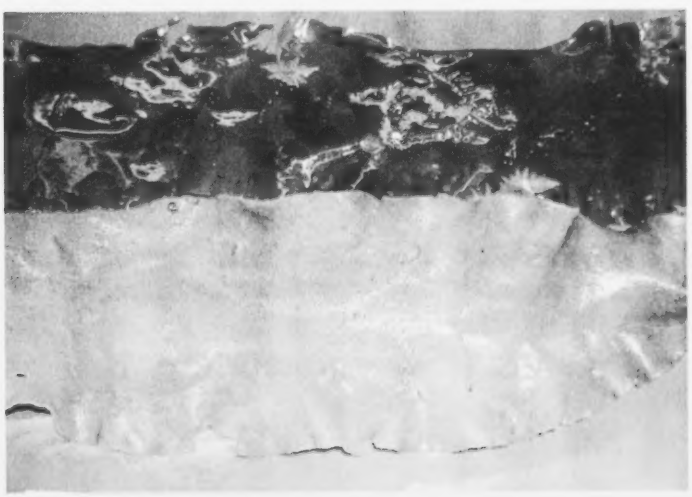


Figure 21. Fronde envahie complètement par le bryozoaire *Membranipora membranacea* (en bas de la photo) en comparaison avec une fronde sans le bryozoaire (en haut de la photo).

3.2 VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

3.2.1 Température

De juin à octobre 2006, la température de l'eau à 2 mètres de profondeur a varié entre 6 et 18°C (Figure 22). La température s'est réchauffée en juin et en juillet et le pic de température a été atteint autour du 15 juillet. La température chaude s'est maintenue jusque vers la troisième semaine du mois d'août. Des entrées d'eau froide correspondant aux marées de vives eaux ont causé des chutes temporaires des températures de surface de quelques degrés. À partir de la fin août, la température de l'eau est demeurée stable autour de 15°C jusqu'au 19 septembre où elle a subi une chute d'environ 5°C. Elle a par la suite diminué progressivement jusqu'à la fin octobre.

Les moments où les premières moules et les premiers bryozoaires (*M. membranacea*) ont commencé à être visibles à l'œil nu sont montrés à titre indicatif sur le graphique.

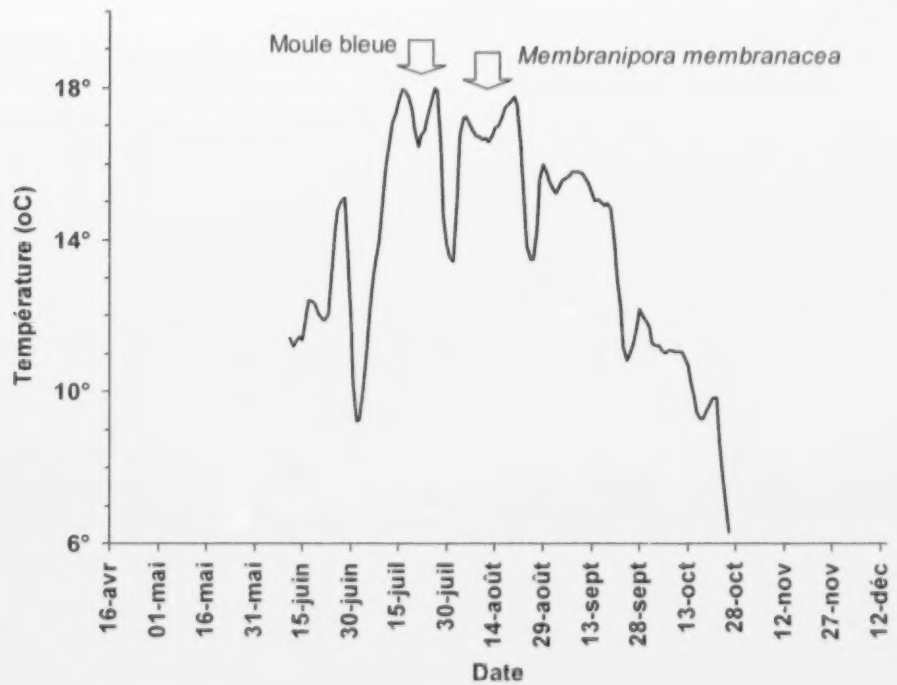


Figure 22. Températures journalières moyennes observées en surface (2 mètres) sur le site aquacole de Paspébiac du 11 juin au 26 octobre 2006.

3.2.2 Sels nutritifs

Les concentrations en sels nutritifs azotés (nitrites + nitrates) ont diminué progressivement entre mai et août 2006, atteignant un creux de 0,34 µmol/L en août (Figure 23A). Les valeurs maximales ont été observées en mai avec 2,41 µmol/L et étaient attribuables à la forte concentration en nitrates. Les nitrites sont demeurés faibles et assez stables tout au long de la saison. Les phosphates mesurés entre mai et octobre ont varié entre 0,22 µmol/L en août et 0,68 µmol/L en juillet (Figure 23B). Les valeurs sont demeurées autour de 0,30 µmol/L en mai, juin et septembre. Les valeurs ont montré une augmentation entre août et octobre.

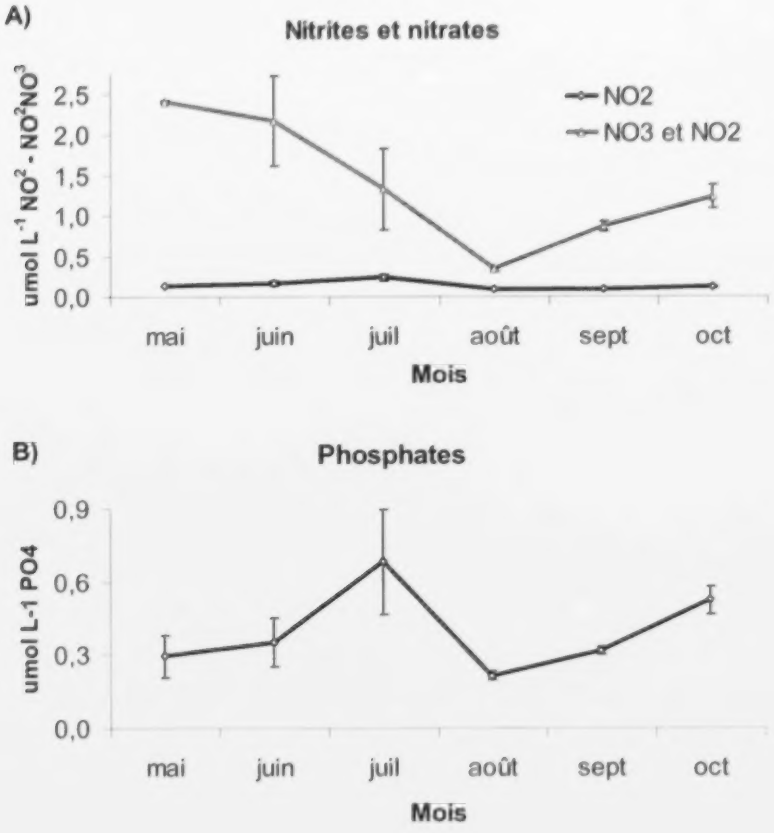


Figure 23. Variation mensuelle des sels nutritifs A) nitrites $NO2^-$ et nitrates $NO3^-$, et B) phosphates, $PO4^{3-}$, au site de Paspébiac de mai à octobre 2006 (±erreur-type).

3.3 CONSTITUANTS DES ALGUES

Les données sur les constituants des algues sauvages et cultivées apparaissent à l'Annexe 2. Les acides uroniques mesurés dans les plants sauvages étaient significativement plus élevés ($p<0,01$) en juillet (1,07 %) qu'en mai (0,82 %) (Figure 24). Ils étaient moins élevés en septembre (0,59 %), mais la différence n'est pas significative ($p>0,05$). La teneur en acides uroniques des plants cultivés (1,24-1,31 %) était plus élevée que celle des plants sauvages (0,59-1,07 %). Les différences sont significatives pour mai ($p<0,001$) et juillet ($p<0,05$). En septembre, les Laminaires cultivées colonisées par le bryozoaire avaient une teneur en acides uroniques significativement plus faible ($p<0,05$) que celles des Laminaires non colonisées, soit 0,25 % contre 1,24 %.

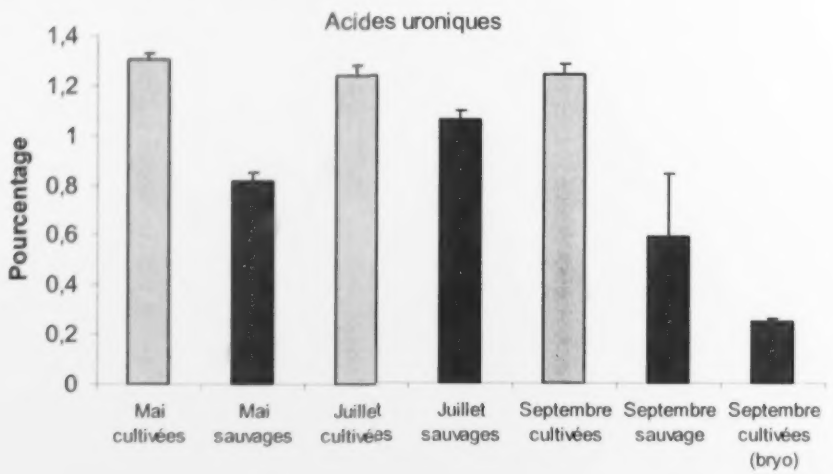


Figure 24. Pourcentage (±erreur-type) d'acides uroniques par rapport au poids sec mesuré dans les algues cultivées et sauvages au large de Paspébiac en mai, juillet et septembre 2006, incluant les algues colonisées par le bryozoaire *Membranipora membranacea* (bryo).

Les sucres totaux des plants sauvages étaient significativement moins élevés ($p<0,05$) en mai (1,18 %) qu'en juillet (3,74 %) ou septembre (4,44 %) (Figure 25A). Les sucres totaux des plants cultivés étaient significativement ($p<0,01$) plus élevés en juillet (8,02 %) qu'en mai (2,99 %) ou septembre (2,82 %). Sauf en septembre, le contenu en sucres totaux était plus élevé dans les plants cultivés ($p<0,001$) que dans les plants sauvages. La quantité de sucres totaux dans les algues cultivées colonisées par le bryozoaire était significativement plus faible que pour les algues non colonisées ($p<0,001$).

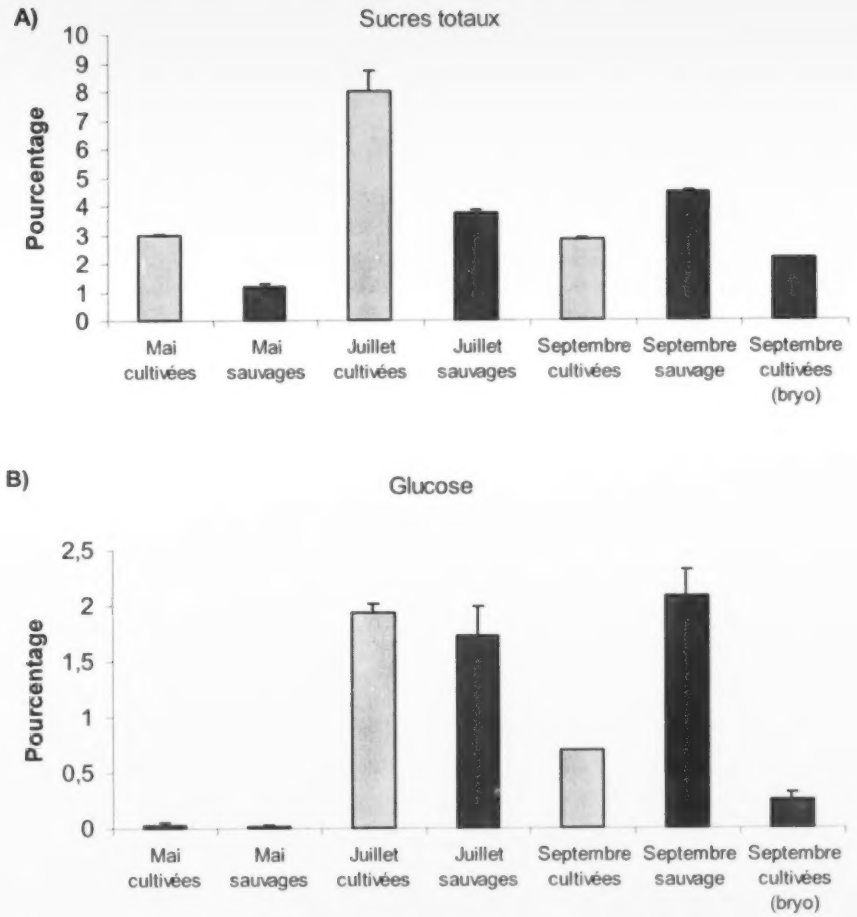


Figure 25. Pourcentage (±erreur-type) A) de sucres totaux et B) de glucose par rapport au poids sec mesuré dans les algues cultivées et sauvages au large de Paspébiac en mai, juillet et septembre 2006, incluant les algues colonisées par le bryozoaire *Membranipora membranacea* (bryo).

L'augmentation de la quantité de sucres en juillet est liée surtout à l'accumulation de glucose (Figure 25B). Le glucose a augmenté de un à deux ordres de grandeur entre mai et juillet et les niveaux élevés se sont maintenus en septembre, quoique dans une moindre mesure pour les plants cultivés. Pour septembre, la teneur en glucose dans les plants cultivés était significativement plus faible ($p<0,001$) que dans les plants sauvages et les plants colonisés par le bryozoaire en contenaient significativement moins que les plants cultivés non colonisés ($p<0,01$). Les acides uroniques sont à la base des alginates et des acides alginiques. La laminarane qui constitue un polysaccharide de réserve chez les Laminaires est formée de chaînes de monosaccharides, principalement de glucose. Les analyses n'ont détecté aucune présence de sulfates chez les Laminaires qu'elles aient été en culture ou sauvages.

Le pourcentage d'azote provenant de différentes sources (protéines, réserves de nitrites et nitrates, etc.) mesuré dans les plants sauvages a varié entre 0,89 % et 1,15 % entre mai et septembre (Figure 26). La diminution observée entre mai et juillet n'est cependant pas significative ($p>0,05$). Le pourcentage d'azote des plants cultivés était significativement plus faible ($p<0,01$) en juillet qu'en mai ou septembre. Pour mai et septembre, les pourcentages étaient similaires avec 1,36 % et 1,4 % respectivement. Le contenu en azote était significativement plus élevé chez les algues cultivées que chez les algues sauvages uniquement en septembre ($p<0,001$). Les algues colonisées par les bryozoaires avaient un contenu en azote très élevé (2,53 %).

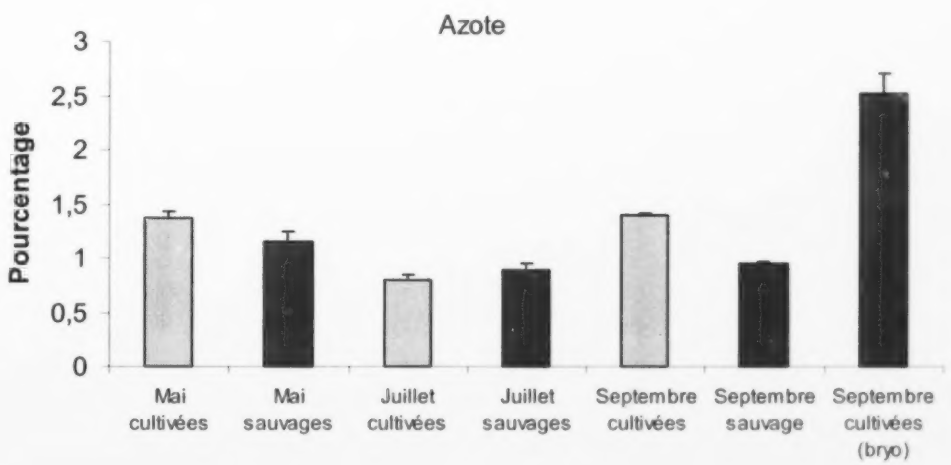


Figure 26. Pourcentage (±erreur-type) d'azote par rapport au poids sec mesuré dans les algues cultivées et sauvages au large de Paspébiac en mai, juillet et septembre 2006, incluant les algues colonisées par le bryozoaire *Membranipora membranacea* (bryo).

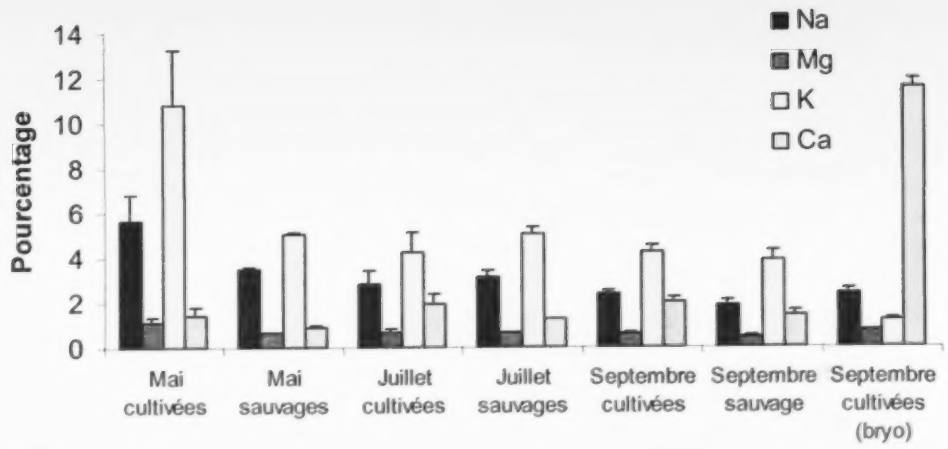


Figure 27. Pourcentage (±erreur-type) de minéraux (sodium (Na), magnésium (Mg), potassium (K) et calcium (Ca)) par rapport au poids sec mesuré dans les algues cultivées et sauvages au large de Paspébiac en mai, juillet et septembre.

Uniquement en mai, le pourcentage de potassium (K) des algues cultivées était près du double de celui des algues sauvages (Figure 27). Le sodium, le magnésium et le potassium ont diminué entre mai et septembre, tant dans les algues sauvages que cultivées. À l'inverse, le calcium (Ca) a augmenté au cours de la saison, pour les deux groupes d'algues. Par contre, aucune des ces différences ou tendances n'est significative ($p>0,05$). Les algues colonisées par le bryozoaire avaient un taux de calcium significativement plus élevé ($p<0,001$) et un taux de potassium significativement plus faible ($p<0,01$) que les algues non colonisées en septembre.

4.0 DISCUSSION ET CONCLUSION

Préculture

L'expérience qui a été réalisée a permis de démontrer la faisabilité de produire des jeunes pousses de la Laminaire à long stipe (*Laminaria longicruris*) à partir de sporophytes matures récoltés en mer. Les étapes de sporulation et d'ensemencement ainsi que le développement microscopique des plants n'ont pas posé de difficulté majeure. Le succès des manipulations peut être attribué au fait que les sporophytes utilisés étaient à un niveau de maturité adéquat. L'examen au microscope de la surface des frondes quelques heures avant la provocation de la sporulation montrait clairement les sporocystes et les paraphyses. Par ailleurs, l'examen microscopique de la solution de spores, quelques minutes après la sporulation a permis de confirmer la présence de spores motiles en très forte densité. Un soin particulier a été apporté à la stérilisation de tous les équipements,

instruments et milieu de culture afin d'éviter toute contamination. Le développement des gamétophytes, des gamètes et sporophytes s'est déroulé assez rapidement. Environ un mois après l'ensemencement, les ficelles étaient entièrement colonisées par des plantules qui atteignaient 5-6 mm de longueur, du moins sur les ficelles ayant été plus près de la lumière. La croissance des plantules sur les ficelles qui sont demeurées au fond de l'aquarium a été plus faible d'environ 32 %. Une meilleure disposition de l'éclairage et la rotation du support pourraient permettre d'atténuer cette variabilité. Bien qu'il soit facile de s'approvisionner en spores à partir de plants matures comme nous l'avons fait dans cette expérience, cette procédure demeure limitante car elle dépend de la période de reproduction des algues. Les Laminaires sont connues pour se reproduire principalement à l'automne (Chapman 1984), quoique des Laminaires fertiles aient été observées en juillet aux Îles-de-la-Madeleine (Marsot et Fournier 1992) et d'avril à novembre dans le secteur de Grande-Rivière (Eric Tamigneaux, CCTTP, CSP, Grande-Rivière QC, comm. pers.). Le recours à la technique du « Free-living » où les gamétophytes peuvent être conservés intacts plusieurs mois sous une lumière rouge qui inhibe la gamétogénèse pourrait servir à prolonger la période d'ensemencement et ainsi choisir le moment pour le développement des différentes étapes de culture (i.e. retarder ou devancer la mise en culture en bassins, par conséquent, celle en mer). La technique développée par Pang et Lüning (2004), consistant à accélérer la maturation des frondes en séparant la partie distale de la fronde de la partie proximale et en ajustant la température et la photopériode pourrait être utilisée aussi. Cette technique a été expérimentée récemment et avec succès à Grande-Rivière (E. Tamigneaux, CCTTP, CSP, Grande-Rivière, comm. pers.).

Culture en bassins

Le passage de l'étape préculture en laboratoire à celle de la culture en bassins s'est fait sans qu'il y ait de mortalité apparente des plants, malgré l'apparition de diatomées benthiques en grande quantité dans les bassins d'élevage. Le nettoyage des bassins à toutes les deux semaines a permis de contrôler leur développement. Pendant la période de culture en bassins, la densité des algues a diminué considérablement, passant de plus de 1000 plantules à moins de 100 plantules par ficelle de 5 cm, en moins de deux mois. Les fortes densités de départ ont peut-être ralenti la croissance. Un contrôle de la densité des spores au moment de l'ensemencement pourrait peut-être éviter l'auto-réduction et augmenter la croissance. La croissance en bassins a été assez rapide et après 2 mois (environ 100 jours après l'ensemencement), soit autour de la première semaine de février, les algues qui atteignaient en moyenne 5 cm de longueur auraient pu être transférées en mer. Des tailles comparables ont été observées une centaine de jours après l'ensemencement par Chopin et Robinson (2004) lors d'essais de culture réalisés en 2002 avec *L. saccharina* dans la baie de Fundy. Au cours des mois suivants (mars à mai 2006), la croissance en bassins n'a pas été optimale. Les algues ont régressé. Il est possible que leur densité ait été trop élevée et que la lumière ait été trop forte. Les cordes supportant les algues avaient tendance à remonter à la surface, exposant les algues à l'air et à des intensités lumineuses trop fortes. Les extrémités des frondes étaient minces, décolorées et s'érodaient facilement. Au moment de la mise à l'eau en mai 2006, la taille des plants (stipe + fronde) était d'environ 5-6 cm, contre 8-9 cm en mars.

Croissance en mer

Au moment de leur transfert en mer, les jeunes sporophytes montraient une distribution de taille plutôt unimodale. Un étalement du mode est vite apparu à mesure que quelques individus prenaient avantage des conditions du milieu pour croître, vraisemblablement au détriment d'un certain nombre d'autres qui sont demeurés petits pendant plusieurs mois. La croissance de plants sauvages de *L. longicruris* dans la baie des Chaleurs a déjà été documentée par le passé. On a rapporté des taux de croissance élevés, pouvant atteindre 2 cm par jour en juin (Gendron 1989). On a aussi observé que les petites Laminaires croissaient plus vite lorsque le couvert végétal formé par les plus grandes algues était enlevé. On a postulé que les taux de croissance des algues cultivées près de la surface, en raison d'une lumière plus abondante pourraient être supérieurs à ceux des algues sauvages. De façon générale, les taux de croissance mesurés en 2006 sont inférieurs à ceux observés sur des laminaires sauvages en 1980-1981 pour la même période dans le secteur de Ruisseau-Leblanc situé environ 40 km en amont du site de Paspébiac. Entre juillet et août, les taux de croissance en 2006 à Paspébiac n'ont pas dépassé 0,67 cm/jour, comparativement à des valeurs de l'ordre de 1 cm/jour pour Ruisseau-Leblanc en 1980. En septembre par contre, les valeurs sont semblables entre les deux sites. Ainsi, contrairement aux attentes, il semble que la croissance des algues cultivées sur le site de Paspébiac n'ait pas été supérieure à ceux des plants sauvages, du moins pour la période de juillet à septembre. Il aurait évidemment été intéressant de suivre aussi la croissance des algues sauvages en 2006 à Paspébiac pour s'en assurer.

Des différences sont apparues dans la morphologie des plants. Les algues des traitements 2-mètres et 5-mètres étaient généralement plus effilées que celles des deux autres traitements. Les conditions initiales de croissance (en bassins) étaient différentes et pourraient être à l'origine de cette différence. À ce chapitre, il est intéressant de noter qu'il est reconnu depuis fort longtemps que les Laminaires exposées à de forts courants ou soumises à une forte turbulence ont des frondes plus étroites que celles croissant dans des endroits calmes (Parke 1948).

Biomasse

Les algues mises en culture en mai 2006 n'ont pas atteint de rendements intéressants au terme d'une saison de croissance, comme cela avait été envisagé au départ. L'expérience visait à obtenir une biomasse intéressante avant l'arrivée des glaces. Le but était d'éviter de laisser des structures à l'eau pendant l'hiver, pour minimiser les opérations et les risques. Les rendements permettant d'atteindre la rentabilité ne sont cependant pas encore connus avec précicion et dépendent du produit visé. Cependant, il est clair que les rendements obtenus étaient assez faibles, avec un maximum de 1,66 kg/m de corde (traitement 5-mètres). À titre indicatif, des rendements de 3-28 kg/m de corde ont déjà été rapportés pour ce type de culture (filière flottantes près de la surface) sur la côte ouest canadienne pour différentes espèces de Laminaires (Druehl 1999) et 12-17 kg/m corde sur la côte est pour *L. saccharina* (Chopin et Robinson 2004). Mais la principale cause expliquant les faibles rendements n'est pas la croissance des algues mais les ravages causés aux algues par le bryozoaire *M. membranacea*. Ce bryozoaire, qui avait colonisé une très grande surface des frondes en août a contribué à la fragilisation, l'érosion et la cassure des frondes.

Disposition des cordes

Les résultats de notre expérience ont montré que l'accroissement des algues était meilleur à des profondeurs plus grandes. Entre mai et août, la taille moyenne des frondes s'est accrue de plus de 25 cm pour le traitement Vertical, où la corde était immergée entre 2 et 3 mètres de profondeur et de plus de 20 cm, pour le traitement 5-mètres. Pour les deux autres traitements, immergés à 2 m-2,45 m sous la surface, l'accroissement était de 13-14 cm seulement. Les mesures directes d'accroissement linéaire des frondes ont aussi permis de voir que les meilleurs taux de croissance avaient été obtenus à plus grande profondeur. C'est pour le traitement 5-mètres que la croissance a été la plus forte, soit 21,6 cm et 26,5 pour deux périodes de 35 jours entre juillet et septembre 2006. Le traitement 2-mètres a montré les plus faibles accroissements linéaires. Les traitements Horizontal et Vertical ont montré des taux de croissance assez élevés, mais les plants situés plus en surface (Horizontal) étaient plus courts, suggérant une érosion plus forte en surface. Les algues situées plus près de la surface étaient davantage soumises au brassage par les vagues. Il est possible aussi que les algues qui étaient à une profondeur de 2 m aient été davantage exposées aux radiations UV. Chez certaines Laminaires, ces rayons peuvent causer une diminution de la croissance et diverses déformations, en particulier, chez les jeunes sporophytes (Roleda *et al.* 2004). Le mois d'août 2006 a d'ailleurs été caractérisé par un niveau d'ensoleillement supérieur à la moyenne (Site Internet : Environnement Canada, criacc.qc.ca). De façon générale, le pourcentage d'algues brisées (frondes coupées, frondes fragmentées et stipes sans fronde) est par ailleurs apparu plus élevé à plus faible profondeur.

Les différences observées entre les traitements Horizontal et Vertical sont peut-être liées à un effet de profondeur plutôt qu'à un effet de disposition des cordes. Les algues de la disposition Horizontale pouvaient à l'occasion être ramenées un peu plus vers la surface dans des périodes de forts courants. Les résultats obtenus ici ne permettent pas de dire quelle disposition serait la plus avantageuse. En Chine, la culture des Laminaires (Site Internet : FAO concernant *Laminaria japonica*) se fait selon deux types d'installation de cordes de culture, soit horizontalement en surface ou soit verticalement dans la colonne d'eau à partir de la surface. Les algues sur les cordes disposées horizontalement reçoivent une quantité égale de lumière et ont des taux de croissance généralement plus élevés. Celles situées au bout des cordes suspendues verticalement croissent habituellement moins vite, surtout dans des régions turbides. L'installation verticale est cependant plus facile à installer et à manipuler. De plus, elle résiste mieux dans des zones de forts courants.

Caractéristiques du site de culture

Les températures enregistrées en surface sur le site de culture étaient élevées et sont demeurées supérieures à 15°C la plupart du temps du 10 juillet au 18 septembre et au-dessus de 17°C du 12 juillet au 22 août. Par comparaison, les températures estivales mesurées à Grande-Rivière à 2 m de profondeur entre 1997 et 2005 étaient en général de 1-3°C moins élevées. Il est possible que les pics élevés de température en juillet et en août aient pu favoriser la colonisation des Laminaires par le bryozoaire *M. membranacea* (voir

Annexe 1). Le cas échéant, la culture des Laminaires dans des eaux trop chaudes pourrait être problématique.

Les sels azotés (nitrites et nitrates) mesurés sur le site de culture au large de Paspébiac ont montré une diminution marquée au cours de l'été, principalement en août où les niveaux étaient très bas (<0,5 µmol/L). Si l'on ne tient compte que des nitrites et des nitrates, on peut penser que les sels azotés peuvent être limitatifs pour la croissance des algues dans le secteur de Paspébiac pendant l'été. Les taux de croissance ont été mesurés pendant les mois où les sels azotés étaient à leur niveau le plus bas (0,34 µmol/L). Comme le cycle saisonnier de croissance des Laminaires est variable et dépend du cycle d'azote dans le milieu (Gendron 1989, Gagné *et al.* 1982, Anderson *et al.* 1981), on peut penser que les taux de croissance des Laminaires cultivées aient pu être beaucoup plus élevés en mai et juin, alors que les sels azotés étaient à des niveaux jusqu'à 7 fois plus élevés (2,17-2,41 µm/L). La limitation serait par contre de courte durée car dès septembre, les concentrations en sels azotés étaient en augmentation. Une déplétion des nitrates avait aussi été observée à Ruisseau-Leblanc au cours de l'été 1981. Le niveau d'azote (incluant l'ammonium) était cependant demeuré supérieur à 4 µmo/L pendant toute l'année, indiquant que le milieu n'était pas limité en azote. Sur le site de Paspébiac, les phosphates ont aussi varié pendant l'été avec un pic en juillet (0,68 µmol/L) et un creux en août (0,22 µmol/L).

Constituants des algues

Les niveaux de sels azotés, par le biais de leur action sur la croissance, affectent l'accumulation des réserves des Laminaires. Les Laminaires de Paspébiac, sauvages et cultivées, ont montré une augmentation de la concentration en sucres totaux au cours de l'été. Selon Gagné *et al.* (1982) et Gendron (1989), lorsque les Laminaires croissent dans des environnements où les sels nutritifs azotés sont limitatifs, elles peuvent accumuler des réserves en hydrates de carbone (sucres) lors de périodes où l'activité photosynthétique est stimulée par des températures élevées et une lumière abondante. Ces réserves sont utilisées plus tard pour la croissance lorsque les sels azotés sont de nouveau abondants dans le milieu. Les profils des constituants établis dans ce travail illustrent bien cette stratégie. L'augmentation importante du glucose au cours de l'été est une indication à l'effet que les algues sont dans un processus d'accumulation de réserves d'hydrates de carbone. En ce qui concerne les sucres totaux, les concentrations étaient plus élevées pour les algues cultivées, comparativement aux algues sauvages, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'elles étaient exposées à plus de lumière et qu'elles aient eu une plus grande activité photosynthétique. Par ailleurs, les algues peuvent aussi utiliser leurs réserves d'azote lorsque celui-ci est moins abondant dans le milieu. La diminution de la concentration en azote dans les plants entre mai et juillet pourrait refléter cette stratégie, surtout pour les plants cultivés, qui avaient peut-être une activité photosynthétique plus grande.

L'apparition du bryozoaire à compter du mois d'août a sensiblement altéré les algues, et fort probablement leur patron de croissance. Il est difficile d'interpréter les niveaux des différents constituants observés en septembre en fonction de la stratégie de croissance des Laminaires uniquement. On a observé que les algues colonisées par le bryozoaire avaient

moins de réserves (sucres) que les algues non colonisées, suggérant une perturbation de leur activité métabolique. De plus, les niveaux d'acides uroniques, qui sont associés aux constituants des parois cellulaires étaient très bas, suggérant une altération structurelle des plants au niveau des parois cellulaires. Les forts taux de protéines et de calcium sur les plants colonisés reflètent davantage la composition du bryozoaire que de l'algue elle-même.

Autres espèces

Les cordages des filières ont fourni un substrat adéquat de collecte de moules bleues. Ceci était en partie prévisible. Les moules ont commencé à être visibles sur les cordages en juillet. Chez les mytiliculteurs de la baie des Chaleurs, la collecte de naissain de moules s'échelonne généralement de mai à juillet. La biomasse de moules bleues était très importante sur les filières en octobre. La quantité de moules récoltées a atteint 3,36 kg/m de corde sur la filière du traitement 5-mètres. La colonisation par les moules était moins importante plus près de la surface où on a obtenu 0,78 kg/m corde de moules pour le traitement Horizontal. Les moules du traitement 5-mètres étaient d'ailleurs plus grosses, soit 11,9 cm en moyenne que celles des autres traitements, soit 8,6-9,4 cm en moyenne. La présence de moules ne semble pas avoir affecté les Laminaires directement, quoique leur présence dans les crampons ait pu fragiliser leur attache. Par contre, elles ont contribué à alourdir les structures d'élevage.

Beaucoup moins prévisible fut l'invasion des frondes de Laminaires par un bryozoaire envahissant, *M. membranacea*, qui a surpris par son intensité et sa rapidité. Cet événement mérite une attention particulière car il compromet sérieusement la faisabilité et la rentabilité de l'entreprise aquacole envisagée. Un survol des principales caractéristiques de cette espèce est présenté à l'Annexe 1. C'est à partir du mois d'août que le bryozoaire a commencé à avoir un impact négatif important sur la biomasse de Laminaires. Que ce soit à 2 mètres ou à 5 mètres, ce bryozoaire a provoqué en deux mois la destruction des cultures en causant une perte importante de biomasse. Des tactiques d'évitement ou de contrôle de la colonisation des frondes par ce bryozoaire doivent immédiatement être examinées si une entreprise de culture de Laminaires veut voir le jour dans la baie des Chaleurs. L'absence de ce bryozoaire dans les eaux froides du golfe du Saint-Laurent, notamment sur la côte Nord à Sept-Îles et Havre st-Pierre (M. Fréchette., MPO. IML, Mont-Joli et M. Beaudoin, MPO, Sept-Iles, comm. pers.) et à 10-12 m sur un site de mariculture à Grande-Rivière, en milieu semi-exposé (E. Tamigneaux, CCTTP, CSP, Grande-Rivière, comm. pers.) laissent penser que la culture dans des couches d'eaux plus froides pourraient permettre d'éviter le problème, à tout le moins lors des moments de fixation du bryozoaire. Par ailleurs, il pourrait aussi être avantageux de devancer d'un mois ou deux la mise à l'eau des jeunes sporophytes au printemps ou dès que les conditions le permettent pour ainsi obtenir une récolte hâtive (au début d'août, par exemple), avant l'apparition du bryozoaire. De plus, en raison de la préférence du bryozoaire pour des zones à fort courant, la culture dans des sites plus abrités (baies, anses, etc.) pourraient permettre d'éviter la colonisation des algues. On ne connaît pas pour l'instant de prédateur de ce bryozoaire, qui pourrait être utilisé pour son contrôle. En Europe, l'impact du bryozoaire *M. membranacea* sur les frondes de Laminaires serait moindre en raison de la prédation par un nudibranche, *Polycera*

quadrilineata, qui limiterait sa prolifération (Pratt et Grason, sous presse). Puisqu'il s'agit d'une espèce introduite, il n'existe pas de prédateur naturel pour ce bryozoaire, quoiqu un nudibranche prédateur du bryozoaire indigène *Electra pilosa* s'en nourrirait (Voir Annexe 1). Sa prolifération ne semble pas être freinée, à en juger par les ravages faits dans les forêts de Laminaires de la côte est américaine et canadienne (Voir Annexe 1). Parallèlement aux activités de culture, un suivi serré devrait être mise en place dès la mi-juillet afin de suivre l'apparition du bryozoaire et prendre les dispositions nécessaires pour limiter les dégâts (e.g. déplacement des filières en eaux plus froides ou plus profondes, récolte immédiate, etc).

Conclusion

Bien que le projet n'ait pas donné les résultats escomptés en termes de biomasse récoltable, les informations acquises lors de ce premier essai sont néanmoins importantes et utiles pour la planification des prochaines étapes. Le projet a permis de se familiariser avec les processus de sporulation, d'ensemencement et de production de jeunes plantules. Les techniques décrites dans ce rapport s'avèrent relativement simples et pourraient être reproduites à plus grande échelle. Les conditions de culture en bassins ont permis une croissance rapide et les algues auraient pu être mises en mer plus rapidement si les conditions extérieures l'avaient permis. Le séjour des algues en bassins pourrait être grandement raccourci et peut-être même évité. Il est possible que les plantules de 5-6 mm obtenues au terme de l'étape de préculture en milieu fermé puissent être mises directement en mer. Dans les travaux menés par Chopin *et al.* (2004), des plantules de 1 mm sont mises directement en mer. Le cas échéant, les techniques de contrôle de la gamétogénèse auraient avantage à être développées afin d'ajuster la production de plantules en fonction de la date souhaitée de mise en mer.

Le peu de temps qu'a duré la culture en mer aura tout de même permis d'obtenir des réponses, à tout le moins préliminaires, aux questions posées au début du projet. La stratégie de croissance des Lamimaires sur le site de Paspébiac est similaire à celle des plants retrouvés dans des milieux où les sels azotés sont limitatifs pendant une partie de l'année. Ainsi, la diminution des sels nutritifs azotés a probablement eu comme effet de ralentir la croissance des algues. On a aussi montré que les constituants des algues cultivées, les sucres notamment, tout comme ceux des algues sauvages recueillies sur le site de Paspébiac, ont varié entre mai et septembre. On peut associer cette variation à la stratégie de croissance des algues. La teneur en sucre des algues peut être un critère de qualité tout dépendant du produit dérivé. On a aussi constaté que les minéraux contenus dans les algues cultivées étaient aussi abondants que dans les algues sauvages. Nous avons aussi observé des différences liées à l'arrangement des filières qui nous laissent croire que la culture des algues à 5 m pourrait être plus avantageuse qu'à 2 m, en raison entre autres d'une moins grande érosion des frondes à plus grande profondeur. En revanche, nous avons observé une biomasse plus grande de moules bleues sur les cordes à 5 m qu'en surface. L'impact des moules sur les installations n'a cependant pas été pleinement évalué. Notre attention s'est davantage concentrée sur la colonisation par le bryozoaire qui a causé la perte totale de la culture. Cet événement demeure un point fort négatif susceptible de nuire au développement de cette activité, du moins à Paspébiac, s'il devait se répéter. Des tactiques d'évitement du problème doivent être trouvées

rapidement en même temps que l'acquisition de données additionnelles sur cette nouvelle espèce.

L'aquaculture d'algues marines est probablement appelée à se développer davantage au cours des prochaines années. Les perspectives mondiales concernant les débouchés commerciaux pour les produits dérivés des algues marines sont en expansion. La recherche d'une matière première abondante et de qualité et facilement accessible en amèneront plusieurs à se tourner vers l'aquaculture comme source d'approvisionnement. Son développement dans le cadre de culture multitrophique, qui fait intervenir plusieurs espèces, apparaît une approche intéressante (Chopin *et al.* 2001, Lüning et Pang 2003, site Internet: Ministère des Pêches et des Océans Canada). Elle apparaît même comme une solution aux problèmes environnementaux causés par les déchets des pisciculture (p. ex. salmoniculture). Les algues en culture permettent d'épurer le milieu des surplus d'azote et de phosphates. Dans ce type de culture, on y associe généralement un élevage de moules pour se débarrasser des surplus de matières organiques. S'intégrant bien au principe d'utilisation durable des ressources halieutiques et aquacoles, ce type d'association permet de limiter les problèmes liés à la pollution, augmente l'acceptabilité générale et crée une plus-value à l'exploitant par l'addition d'espèces cultivées.

5.0 REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche a été réalisé grâce au Programme coopératif de recherche et de développement en aquaculture (PCRDA) en collaboration avec la Société de développement maricole (SODIM), l'entreprise Les Gaspésiennes inc. et Océanova Biotechnologies inc. Les auteurs remercient M. Raymond Ferembach de Les Gaspésiennes inc. pour son implication et son soutien à toutes les étapes du projet. Nous remercions également tout le personnel technique de l'entreprise, et tout particulièrement M. Germain Desroches, pour leur soutien lors du travail en bassins et des sorties en mer. Nous remercions également Martin Beaulieu, Raphaël Anguenot de Oceanova Biotechnologies inc. et leur équipe pour les analyses des constituants des algues et Marie-Lyne Dubé et Lyne McLaughlin de l'IML pour les analyses des sels nutritifs. Nous remercions Madeleine Nadeau et Éric Tamigneaux pour leurs commentaires sur le manuscrit.

6.0 RÉFÉRENCES

Abelson, A. 1997. Settlement in flow: Upstream exploration of substrata by weakly swimming larvae. Ecology. 78 (1): 160-166.

Al-Ogily, S. M. et E. W. Knight-Jones. 1977. Anti fouling role of antibiotics produced by marine algae and bryozoans. Nature. 265 (5596): 728-729.

Anderson, M. R., A. Cardinal et J. Larochelle. 1981. An alternate growth pattern for *Laminaria longicruris*. J. Phycol. 17: 405-411.

Atkins, D. 1955. The cyphonautes larvae of the Plymouth area and the metamorphosis of *Membranipora membranacea (L.)*. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 34: 441-449.

Berman, J., L. Harris, W. Lambert et M. Buttrick.1992. Recent Invasions of the Gulf of Maine: Three Contrasting Ecological Histories. Conservation Biology. 6 (3): 435-441.

Bernstein, B. B. et N. Jung. 1979. Selective pressures and coevolution in a kelp canopy community in Southern California. Ecol. Monographs. 49 (3): 335-355.

Blumenkrantz, N. et G. Asboe-Hansen. 1973. New method for quantitative determination of uronic acids. Anal. Biochemistry. 54: 484-489.

Bunting, B. L., J.G. Lindsay et R.G. Saunders. 1980. Survey and selection of agarophytes and carrageenophytes for culture seedstock. Marine Resource Branch. Ministry of environment. Province of British Columbia. Fisheries Development Report No. 25. 69pp.

Chaplin, M. F. 1986. Monosaccharides. *In* Carbohydrate analysis: A practical approach. Edited by M. F. Chaplin and J. F. Kennedy. IRL press, Oxford. pp. 1-36.

Chapman, A. R. O. 1984. Reproduction, recruitment and mortality in two species of *Laminaria* in southern Nova Scotia. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 78: 99-109.

Chopin, T., S. Robinson, M. Sawhney, S. Bastarache, E. Belyea, R. Shea, W. Armstrong, I. Stewart, et P. Fitzgerald. 2004. The AquaNet intergrated multi-trophic aquaculture project : rationale of the project and development of kelp cultivation as the inorganic extractive component of the system. Bull. Aquacul. Assoc. Canada 104 (3): 11-18.

Chopin, T. et S. Bastarache. 2002. Finfish, Shellfish and Seaweed Mariculture in Canada. Bull. Aquacul. Assoc. Canada. 102 (3): 119-124.

Chopin, T. et S. Robinson. 2004. Defining the appropriate regulatory and policy framework for the development of integrated multi-trophic aquaculture practices: Introduction to the workshop and positioning of the tissues. Bull. Aquacul. Assoc. Canada. Vol. 104 (3): 4-10

Chopin, T., A. H. Buschmann, C. Halling, M. Troell, N. Kautsky, A. Neori, G. P. Kraemer, J. A. Zertuche-Gonzalez, C. Yarish et C. Neefus. 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. J. Phycol. 37 (6): 975-986.

Chopin, T., S. Bastarache, E. Belyea, E. Haya, D. Sephton, J. L. Martin, S. Eddy et I. Stewart. 2003. Development of the cultivation of *Laminaria saccharina* as the extractive inorganic component of an integrated aquaculture system and monitoring of therapeutants and phycotoxins. J. Phycol. 39 (S1): 10.

Druehl, L. D. 1980. The development of an edible kelp culture technology for British Columbia 1. Preliminary studies. Marine Resource Branch. Ministry of environment. Province of British Columbia. 43 p.

Druehl, L. D. 1988. Cultivated edible kelp. *In* Algae and Human Affairs. Edited by C.A. Lembi and R.J. Waaland. Cambridge University Press. pp. 119-134.

Druehl, L. D. 1999. Potential for a new seaweed industry in Canada: A western perspective. Bull. Aquacul. Assoc. Canada. 99 (1): 18-22.

Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers et F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28 (3): 350-356.

Duggins, D. O. 1990. Ecology of understory kelp environments. II. Effects of kelps on recruitment of benthic invertebrates. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 143 (1-2): 27-45.

Environnement Canada, Région du Québec, section Suivi et Adaptation au Climat: Centre de Ressources en Impacts et Adaptation au Climat et à ses Changements. http://www.criacc.qc.ca/index.html (consultation du site: janvier 2007)

FAO. 2006a. State of world aquaculture: 2006. FAO Fisheries Technical Paper. No. 500. Rome, FAO. 2006. 134p.

FAO. 2006b. Prospective Analysis of Future Aquaculture Development. FAO Fisheries Department, Rome. 2006. 59p.

FAO. 2007. Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit, Fishstat plus. Universal software for fishery statistical time series. Catches and landings, 2004.

FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme: *Laminaria japonica*. http://www.fao.org/fi/website/SwapLang.do?language=en&page=%2FFIRetrieveAction.do%3Fdom%3Dculturespecies%26xml%3DLaminaria_japonica.xml#tcNF014C (consultation du site: janvier 2007)

Gagné, J. A., K. H. Mann et A. R. O. Chapman. 1982. Seasonal Patterns of Growth and Storage in *Laminaria longicruris* in Relation to Differing Patterns of Availability of Nitrogen in the Water. Mar. Biol. 69: 91-101.

Gendron, L. 1989. Seasonal growth of the kelp *Laminaria longicruris* in Baie des Chaleurs, Québec, in relation to nutrient and light availability. Botanica Marina. 32 (4): 345-354.

Grünbaum, D. 1997. Hydromechanical mechanisms of colony organization and cost of defense in an encrusting bryozoan, *Membranipora membranacea*. Limnol. Oceanogr. 42 (4): 741-752.

Harris, L.G. et A. C. Mathieson, 1999. Patterns of range expansion, niche shift and predator acquisition in *Codium fragile ssp. tomentosoides* and *Membranipora membranacea* in the Gulf of Maine. *In* Marine Bioinvasions, Proceedings of the First National Conference, January 24-27, 1999, Edited by Pederson, J. MIT Sea Grant College Program, Cambridge, MA2300-2314. pp. 46-56.

Harvell, C. D. 1992. Inducible defenses and allocation shifts in a marine bryozoan. Ecology. 73 (5): 1567-1576.

Iyengar, E. V. et C. D. Harvell. 2002. Specificity of cues inducing defensive spines in the bryozoan *Membranipora membranacea*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 225: 205-218.

Kamerling, J. P., G. J. Gerwig, J. F. G. VliegentHart et J. R. Clamp. 1975. Characterization by gas-liquid chromatography-mass spectrometry and proton-magnetic-resonance spectroscopy of pertrimethylsilyl methyl glycosides obtained in the methanolysis of glycoproteins and glycopeptides. Biochem J. 151: 491-495.

Lambert, W. J., P. S. Levin et J. Berman. 1992. Changes in the structure of a New England (USA) kelp bed: the effects of an introduced species? Mar. Ecol. Prog. Ser. 88 (2-3): 303-307.

Levin, P. S., J. A. Coyer, R. Petrik et T. P. Good, T.P. 2002. Community-wide effects of nonindigenous species on temperate rocky reefs. Ecology. 83 (11): 3182-3193.

Lüning, K. et S. Pang. 2003. Mass cultivation of seaweeds: Current aspects and approaches. J. Appl. Phycol. 15 (2-3), 115-119.

Marsot, P. et R. Fournier. 1992. Faisabilité biologique de la reproduction de *Laminaria longicruris* et de la croissance des jeunes sporophytes en laboratoire. Technomar-UQAR. Projet d'étude de faisabilité technique et économique de la culture d'algues alimentaires aux Îles de la Madeleine. 106 p. + annexes.

Ministère des Pêches et des Océans Canada. http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/Story/maritimes/multi_trophic_f.htm (consultation du site: mars 2007)

Ministry of Agriculture and Lands – Fisheries and aquaculture – Species List. http://www.al.gov.bc.ca/fisheries/licences/species_list.htm (consultation du site : janvier 2007)

Montreuil, J., S. Bouquelet, H. Debray, B. Fournet, G. Spik et G. Strecker. 1986. Glycoproteins. *In* Carbohydrate analysis, a practical approach. Edited by M. F. Chaplin and J. F. Kennedy. IRL Press, Oxford. pp. 143-204.

Nair, N. B., 1962. Ecology of Marine Fouling and Wood-Boring Organisms of Western Norway. Sarsia. 8 : 1-188

Nichols, C. A. M., S. Garon, J. P. Bowman, G. Raguenes et J. Guezennec. 2004. Production of exopolysaccharides by antarctic marine bacterial isolates. Journal Appl. Microbiol.. 96 (5): 1057-1066.

Nova Scotia Fisheries and Aquaculture – Aquaculture – Production sales of market size. http://www.gov.ns.ca/aquaculture/stats/2005.shtml (consultation du site : janvier 2007)

Nyberg, C.D. et I. Wallentinus. 2005. Can species traits be used to predict marine macroalgal introductions? Biol. Invasions. 7 (2): 265-279.

Pang, S.J et K. Lüning (2004). Breaking seasonal limitation: year-round sporogenesis in the brown alga *Laminaria saccharina* by blocking the transport of putative sporulation inhibitors. Aquaculture. 240 (1-4): 531-541.

Parke, M. 1948. Studies on British Laminariaceae : I. Growth in *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 27 : 651-709.

Plongeetech. 2007. http://www.plongeetech.com (consultation du site : janvier 2007).

Pratt, M. C. et E. W. Grason. Sous presse. Invasive species as a new food source: does a nudibranch predator prefer eating an invasive bryozoan? Biol. Invasions.

Roger, O., N. Kervarec, J. Ratiskol, S. Colliec-Jouault et L. Chevolot. 2004. Structural studies of the main exopolysaccharide produced by the deep-sea bacterium *Alteromonas infernos*. Carbohydr. Research. 339 (14): 2371-2380.

Roleda, M.Y., D. Hanelt, G. Kräbs et C. Wiencke. 2004. Morphology, growth, photosynthesis and pigments in *Laminaria ochroleuca* (Laminariales, Phaeophyta) under ultraviolet radiation. Phycologia. 43 (5): 603-613.

Ryland, J. S. 1970. Bryozoans. Hutchinson University Library, London, England. 175p.

Scheibling, R. 2001. Recent invaders alter the kelp bed ecosystem off Nova Scotia. Presentation to Second the International Conference on Marine Bioinvasions. New Orleans, LA.

Scheibling, R. 2003. Synergistic interactions among introduced species mediate a phase shift in the rocky subtidal ecosystem off Nova Scotia. Presentation to Canadian Botanical Association Invasive Plant Symposium, Plant Canada 2003.

Scheibling, R. E., A. W. Hennigar et T. Balch. 1999. Destructive grazing, epiphytism, and disease: The dynamics of sea urchin - kelp interactions in Nova Scotia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56: 2300-2314.

Schiel, D. R. et M. S. Foster. 2006. The population biology of large brown seaweeds: Ecological consequences of multiphase life histories in dynamic coastal environments. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 37: 343-372.

Schwaninger, H. R. 1999. Population structure of the widely dispersing marine bryozoan *Membranipora membranacea* (Cheilostomata): Implications for population history, biogeography, and taxonomy. Mar. Biol. 135 (3): 411-423.

Seed, R. 1976. Observations on the ecology of *Membranipora* (Bryozoa) and a major predator *Doridella steinbergae* (Nudibranchia) along the fronds of *Laminaria saccharina* at Friday Harbor, Washington. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 24: 1-17.

Sokal, R. R. et F. J. Rohlf. 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3rd edition. W. H. Freeman and Co.: New York. 887 p.

Statistique Canada. 2005. Regard sur l'industrie agro-alimentaire et la communauté agricole. N° 21-004-XIF au catalogue. 6 p.

Statistique Canada. 2006. Statistiques d'aquaculture 2005. N° 23-222-XIF au catalogue. 47 p.

Stricker, S. A. 1989. Settlement and metamorphosis of the marine bryozoan *Membranipora membranacea*. Bull. Mar. Sci. 45 (2): 387-405.

Yoshioka, P. M. 1982. Role of planktonic and benthic factors in the population dynamics of the bryozoan *Membranipora membranacea*. Ecology. 63 (2): 457-468.

Annexe 1. Caractéristiques du bryozoaire *Membranipora membranacea* (Classe des Gymnolaemata, Ordre des Cheilostomata).

Membranipora membranacea (désigné *Membranipora* par la suite) est une espèce originaire d'Europe (Ryland 1970). Il se retrouve dans les zones tempérées des hémisphères nord et sud. En Amérique du Nord, sur la côte est, l'espèce a été rapportée pour la première fois en 1987, dans le golfe du Maine (Berman *et al.* 1992). On le retrouve aussi sur la côte ouest américaine, dans les états de Washington (Abelson 1997) et de Californie (Yoshioka 1982) où il serait apparu avant. Sa venue transatlantique aurait été facilitée par certains cargos évacuant leurs eaux de ballasts dans les eaux américaines aux environs des côtes du Maine dans les années 1980, libérant du même coup la forme larvaire du bryozoaire. De part et d'autre de l'Atlantique, les populations de *Membranipora* ne sont pas différentes génétiquement (Schwaninger 1999), suggérant une introduction récente de cette espèce.

Épiphyte spécialiste vivant en colonie, *Membranipora* s'installe de façon préférentielle sur les Laminariaceae où il se nourrit de phytoplancton en filtrant l'eau grâce à ses tentacules ou lophophores. Une colonie contient de plusieurs dizaines à plusieurs milliers d'individus (zoïdes) accolés les uns sur les autres par des cloisons calcaires qui rendent les frondes de Laminaires envahies cassantes aux moindres intempéries.

Reproduction

La facilité qu'aurait cette espèce à coloniser de nouveaux habitats serait liée au fait, entre autres, qu'elle possède deux modes de reproduction, soit sexué et asexué. La reproduction asexuée se fait par bourgeonnement. De plus, les zoïdes du bryozoaire formant les colonies sont hermaphrodites protérandres (Harvell 1992), c'est-à-dire, qu'ils produiront d'abord les gamètes mâles, puis les gamètes femelles en vue d'une reproduction sexuée. La production de spermatozoïdes par les zoïdes commence environ quarante jours après l'implantation d'une colonie. Atkins (1955) décrit le premier le stade larvaire jusqu'à la métamorphose de *Membranipora*. Le bryozoaire se développe en une larve cyphonaute. Les larves sont libérées en grand nombre dans la colonne d'eau lors de la période estivale. La larve y demeure plusieurs semaines se nourrissant de phytoplancton (2 à 4 semaines au large de la Californie) (Bernstein et Jung 1979). En forme de cloche compressée par deux valves, elle peut parfois être confondue à un rotifère. Avant la métamorphose, elle mesure environ 800 µm de largeur sur une hauteur de 600 µm, ce qui représente une surface deux fois plus grande que la larve du bryozoaire indigène *Electra pilosa*, espèce voisine plus petite. De plus, la larve cyphonaute de *Membranipora* possède sur sa marge inférieure des ornementations caractéristiques à l'espèce (Figure 28), ce qui la rendrait facilement identifiable dès sa phase planctonique.

Figure 28. Larve cyphonaute du bryozoaire *Membranipora membranacea* (tiré de Atkins 1955).

Abelson (1997) a conservé vivants, en bassins, plusieurs spécimens de larves cyphonautes de *Membranipora*, à une température de 13°C, ce qui correspondait aux conditions prévalant vers la fin de l'été, dans le canal de San Juan sur la côte est du Pacifique. En plus de nager, la larve possèderait une capacité exploratoire étonnante en se collant et en se déplaçant à contre-courant sur le substrat choisi. Ce comportement permettrait à la larve de trouver la partie jeune des frondes de Laminaires, à proximité de la jonction avec le stipe et de s'y fixer, ce qui l'exempterait de compétition pour l'espace et lui assurerait un substrat stable et renouvelé pour une période de temps maximale. Al-Ogily et Knight-Jones (1977) croient même que les colonies de bryozoaires pousseraient vers la région la plus jeune des Laminaires en raison de la production d'une substance « anti-fouling » plus faible à cet endroit. Stricker (1989) mentionne que la surface des Laminaires serait favorable à la métamorphose des larves sans toutefois spécifier les substances chimiques mises en cause.

Cette fixation sélective et souvent exclusive aux frondes de Laminaires débuterait dès la mi-juin en Grande-Bretagne et s'étendrait jusqu'à la fin septembre (Nair 1962). Également, la larve de *Membranipora* affectionnerait les environnements à forts courants où la sédimentation est faible (Duggins 1990). Elle éviterait ainsi les milieux de forte turbidité. Les observations de Yoshioka (1982) sur la côte californienne montrent que les larves cyphonautes éviteraient les eaux de surface lorsque celles-ci atteignent les 23°C en été. À l'automne, elles seraient en abondance en surface, dans les 5 premiers mètres, alors que les températures sont d'environ 17°C.

Suivant la fixation des larves, la métamorphose se produirait en quelques jours. Stricker (1989) a mené une expérience en laboratoire sur la métamorphose démontrant que celle-ci s'étend sur 3 à 4 jours. La température était alors maintenue entre 10 et 12°C. La larve s'est alors transformée en une ancestrule formée de deux zoïdes jumeaux. À ce stade, l'ancestrule devient une colonie par bourgeonnement asexué formant plusieurs milliers de clones. La croissance se fait par les marges où des rangées de nouveaux individus se rajoutent rapidement vers le bas de la fronde. À l'automne lorsque les Laminaires croissent plus lentement, la colonie peut chevaucher et empiéter complètement la zone méristématique de l'algue et même descendre sur le stipe. Une fronde possède habituellement plusieurs

colonies du même genre, les plus vieilles étant situées à la partie distale de la fronde. Plus tard durant l'hiver, on assiste à un ralentissement de la croissance et de la progression des colonies.

Prédation

Sur la côte ouest de l'Amérique du Nord, *Membranipora* possède au moins un prédateur important, soit le nudibranche *Doridella steinbergae* (Seed 1976) qui se nourrit presque exclusivement des colonies sur lesquelles il est parfaitement camouflé. En Europe, c'est le nudibranche *Polycera quadrilineata* qui se nourrit de *Membranipora* limitant sa prolifération tandis qu'une espèce voisine de bryozoaire, *Electra pilosa*, est broutée par *Onchidoris muricata*. Ce dernier nudibranche est également présent sur la côte ouest de l'Atlantique et peut utiliser *Membranipora* comme source alimentaire lorsque ce dernier devient abondant sur les Laminaires (Pratt et Grason, sous presse). Ces auteurs ont observé sur la côte du New Hampshire que la reproduction de *O. muricata* avait lieu plus tôt en présence de *Membranipora*, lui permettant ainsi de profiter de l'abondance du bryozoaire pour se nourrir en été et à l'automne. D'autre part, on a aussi observé que *Membranipora* répondait à la présence de nudibranches en produisant, entre autres, des épines, limitant ainsi sa prédation (Harvell 1992, Iyengar et Harvell 2002, Grünbaum 1997).

Impact sur les forêts de Laminaires

Une fois établi, *Membranipora* semble difficile à déloger. Les forêts de Laminaires deviennent alors vulnérables à l'invasion. *Membranipora* est reconnu pour avoir provoqué la défoliation de peuplements entiers de Laminaires au Maine à la fin des années 1980 (Lambert *et al.* 1992) et en Nouvelle-Écosse moins d'une décennie plus tard (Scheibling *et al.* 1999). Sa présence dans les eaux du Québec, notamment dans la baie des Chaleurs, semble plutôt récente. Des mentions de l'espèce ont été faites à Port-Daniel à la fin juillet 2003, 2004 et 2005, ainsi qu'à Bonaventure à la fin juillet 2005 (Site Internet : plongeetech.com et Christian Poirier, plongeur, St-Augustin-de-Desmaures, comm. pers.). Des observations menées à différents endroits en Gaspésie à l'été 2006 ont aussi confirmé sa présence, dont entre autres à Carleton et à Percé (observations colligées par L. Gendron) et à l'île Bonaventure par des plongeurs sportifs (E. Tamigenaux, CCTTP, CSP, Grande-Rivi;ere, comm. pers.). L'espèce a aussi été observée à Forillon sur les frondes de Laminaires rejetées sur la plage lors d'une forte tempête à l'automne 2006 (D. Courtemanche, MPO, Gaspé, communication personnelle). Par contre, des observations réalisées sur la Côte Nord à Sept-Îles et Havre-St-Pierre n'ont pas permis de confirmer sa présence (M. Fréchette, MPO, IML, Mont-Joli et M. Beaudoin, MPO, Sept-Iles, comm. pers.)

Ce bryozoaire serait responsable de changements importants dans la structure et la composition des écosystèmes infralittoraux dominés par les Laminaires. Ces changements peuvent s'opérer aussi rapidement qu'en deux ou trois années, ouvrant la voie, par exemple, à l'établissement d'autres espèces envahissantes comme l'algue verte *Codium fragile ssp. tomentosoides* (Scheibling *et al.* 1999, Harris et Mathieson 1999, Levin *et al.* 2002, Scheibling 2003). Sur la côte néo-écossaise, cette dernière espèce a supplanté les Laminaires

comme espèce dominante sur près de 900 km (Scheibling 2001). Une fois la stabilité de l'écosystème fragilisée, d'autres espèces envahissantes peuvent s'établir, ce qui pourrait accentuer l'impact négatif dont celui de restreindre l'apport économique de certains secteurs, comme la pêche et l'aquaculture (Nyberg et Wallentinus 2005).

Annexe 2. Pourcentage moyen (± erreur-type) des constituants des Laminaires cultivées et sauvages pour mai, juillet et septembre 2006. Les résultats sont en pourcentage (p/p) du poids sec. Nd : non détecté.

Mois	Type d'algues	Acides uroniques %	Sucres totaux %	Glucose %	Soufre %	Azote %	Na %	Mg %	K %	Ca %
Mai	Cultivée*	1,31±0,02	2,99±0,05	0,03±0,02	nd	1,36±0,07	5,60±1,8	1,09±0,26	10,84±2,44	1,40±0,35
	Sauvage	0,82±0,04	1,18±0,08	0,02±0,01	nd	1,15±0,10	3,51±0,02	0,69±0,01	5,03±0,07	0,88±0,05
Juil	Cultivée**	1,24±0,05	8,02±0,70	1,94±0,08	nd	0,80±0,05	2,85±0,59	0,69±0,11	4,19±0,90	1,93±0,46
	Sauvage	1,07±0,04	3,74±0,10	1,73±0,26	nd	0,90±0,07	3,09±0,30	0,65±0,05	5,02±0,31	1,23±0,05
Sept	+bryozoaire†	0,25±0,01	2,13±0,04	0,26±0,07	nd	2,53±0,19	2,39±0,18	0,70±0,05	1,16±0,10	11,54±0,35
	-bryozoaire††	1,24±0,05	2,82±0,06	0,70±0,001	nd	1,40±0,01	2,39±0,15	0,59±0,08	4,24±0,27	1,97±0,27
	Sauvage	0,59±0,25	4,44±0,09	2,07±0,24	nd	0,96±0,001	1,87±0,23	0,47±0,06	3,86±0,44	1,41±0,20

*algues cultivées en bassin **algues cultivées en mer sur filières †avec présence de bryozoaires et ††absence de bryozoaires